



대입 과학논술 12 — 생태·진화·생물 다양성

에너지는 흐르고 물질은 돈다 — 개체군에서 종 분화까지

컬러 PDF · 개인 영구 소장

이 PDF는 무료 샘플입니다

이 책의 앞표지와 앞 50쪽, 뒤표지를 읽어 보실 수 있습니다. 51쪽부터는 ssbook.kr에서 구매하시면 전체를 보실 수 있습니다.

ssbook.kr/book/nonsul-12

POD 정가 24,000원 → **14,400원** (60%)

ssbook.kr 홈페이지 안내

- **시리즈별 서가** — 인삼 · 오토파지 · 식물성 저탄고지 · 단식 · 생물리학 · 독립영양인간 · 중고등학교 교재 · 채식 · 라이프스타일 · 고대사
- **책마다 고유 주소** — 링크를 보내면 누구나 표지·소개·무료 샘플을 볼 수 있습니다
- **구매** — 회원가입(이메일 인증) 후 카드 결제(쿠키페이) → 내 서재에서 전체 컬러 PDF 내려받기
- **가격** — 종이책 POD 가격의 60%, 전 페이지 컬러 PDF
- **이용 범위** — 개인 영구 소장 가능, 공개 배포·재판매·공유 금지(내려받은 파일에는 구매자 정보가 표시됩니다)
- **책 신청 게시판** — 회원은 자유게시판에서 원하는 책 내용을 신청할 수 있습니다

MASTER

논술 마스터 시리즈 생물 09



생태·진화· 생물 다양성

1부 기본개념

2부 기출 개념

3부 답안 패턴

4부 실전 풀이

생태·진화·생물 다양성 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

대학 기출 8문항 · 2009~2024학년도 · 이광조 지음

 SSP 과학과영성출판사

MASTER

논술 생물

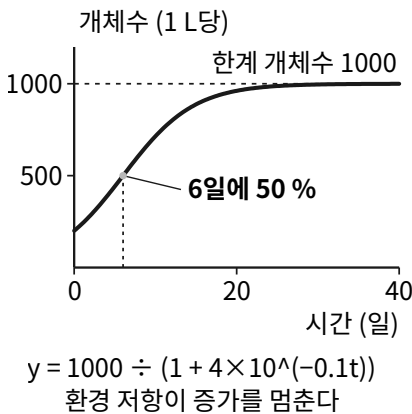
생태·진화·생물 다양성

1부 기본개념편 · 2부 기출문제와 기본개념 · 3부 논술답안작성 패턴분석 · 4부 실전기출문제와 풀이과정

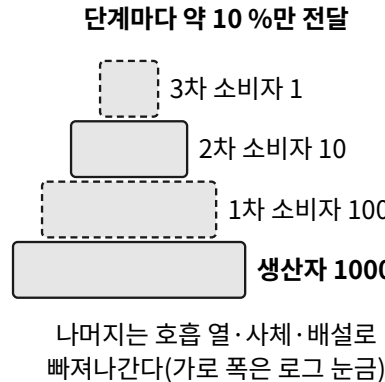
생태·진화·생물 다양성 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

핵심 = 개체군·군집·생태계의 관계 × 변이와 선택 × 다양성의 세 수준 | 8문항 · 3개 대학 (2009~2024)

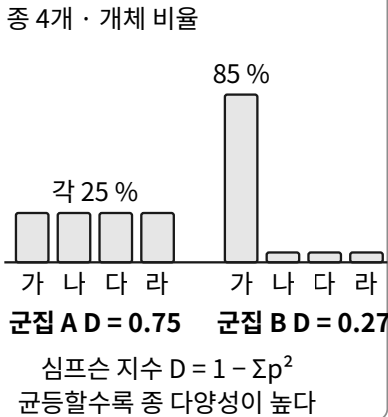
① 개체군: S자로 자란다



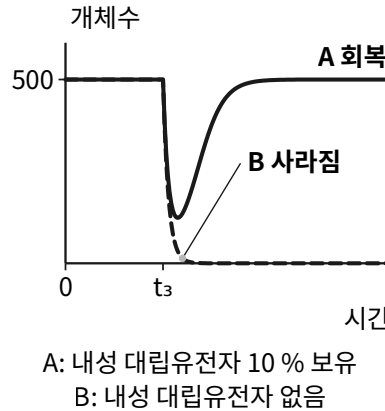
② 영양 단계와 에너지



③ 종 다양성: 수와 균등도



④ 유전자 다양성과 멸종



한 줄 요약: 개체군 → 군집 → 생태계로 넓혀 읽고,
진화와 다양성은 변이 × 선택 × 격리로 읽는다

그림 1. 생태·진화·생물 다양성 단원의 그림 요약. ① 개체군 생장 곡선(로지스틱 식 $y = 1000 / (1 + 4 \times 10^{-0.1t})$, 6일째 한계 개체수의 50 %), ② 영양 단계와 에너지 피라미드(단계마다 약 10 %만 다음 단계로), ③ 종 수가 같은 두 군집의 종 다양성(심프슨 지수 $1 - \sum p^2 = 0.75$ 와 0.27), ④ 같은 환경 변화를 겪은 두 개체군 — 내성 대립유전자가 있는 개체군은 회복하고 없는 개체군은 사라진다. ①은 2009 경희대 모의논술 제시문의 식, ②는 10 % 규칙을 적용한 모식 값, ③·④는 식으로 계산한 예시 값이다.

한 줄 요약: 생태는 개체군 → 군집 → 생태계로 넓혀 읽고, 진화와 다양성은 변이 × 선택 × 격리로 읽는다

연결 단원 → 멘델 유전 · 유전자 발현 조절 · 면역 · 세포 호흡(에너지)

기본개념편	11
제 1 부 안내: 기본개념편을 어떻게 읽는가	12
기본개념편을 열며	14
제 1장 왜 생태·진화·생물 다양성인가.....	16
1.1 생태계는 관계의 이름이다	18
1.2 작용·반작용·상호 작용	19
1.3 개체군·군집·생태계 — 세 층으로 보기	22
1.4 생태와 진화는 한 이야기.....	24
1.5 이 장의 줄거리, 그리고 앞으로의 길	25
제 2장 개체군: 얼마나 늘어날 수 있을까	27
2.1 개체군 밀도와 네 가지 요인	29
2.2 몇 마리인지 세는 법 — 방형구법과 표지 재포획법	30
2.3 J자와 S자 — 지수 성장과 로지스틱 성장	31
2.4 생존 곡선과 연령 피라미드	34
2.5 식으로 읽는 S자.....	35
제 3장 함께 살기, 다투며 살기: 개체군 사이의 상호작용	38
3.1 개체군 안의 관계 — 텃세에서 가족까지.....	40
3.2 경쟁과 경쟁 배타	41
3.3 포식과 피식 — 쫓고 쫓기는 진동.....	43
3.4 공생과 기생 — 부호로 정리하기.....	44
3.5 농사짓는 생물들 — 경쟁만 있는 것은 아니다	45
제 4장 군집과 천이: 빈 땅은 어떻게 숲이 되나.....	48
4.1 군집과 우점종 — 중요치로 대표를 뽑는다	50
4.2 1차 천이 — 맨땅에서 숲까지	52
4.3 양수림은 왜 음수림에 자리를 내주나	54
4.4 2차 천이 — 흙이 남아 있으면 빠르다	55
4.5 천이와 종 수 — 중간에 가장 많을 수 있다.....	56
제 5장 누가 누구를 먹나: 먹이 사슬과 먹이 그물	59
5.1 생산자·소비자·분해자	61
5.2 먹이 사슬과 영양 단계 세기	62
5.3 먹이 그물 — 한 생물이 여러 자리에 선다.....	63
5.4 한 종이 사라지면 — 사슬은 끊기고 그물은 우회한다	64
5.5 화살표 하나에 담긴 약속.....	68
제 6장 에너지는 흐르고 빠져나간다: 생태 피라미드	70
6.1 태양 에너지가 들어오는 문 — 광합성	72
6.2 단계마다 약 10 % — 에너지 효율	74
6.3 밥과 고기 — 영양 단계를 하나 줄이면	76
6.4 세 가지 생태 피라미드와 뒤집힌 피라미드	77
6.5 에너지는 흐르고, 물질은 돈다	79
제 7장 물질은 돈다: 탄소·질소 순환과 부영양화.....	81
7.1 탄소 순환 — 광합성과 호흡이 맞물린 고리	83
7.2 질소 순환 — 공기 속에 넘쳐도 쓸 수 없는 원소	85
7.3 인과 제한 요인 — 가장 모자란 것이 정한다	87

7.4 부영양화와 녹조 — 넘쳐서 생기는 질식.....	88
7.5 왜 하수 처리만으로는 녹조가 줄지 않을까	90
제 8장 생태계 평형과 생물 농축.....	92
8.1 평형은 멈춤이 아니라 되돌아옴.....	94
8.2 평형이 깨질 때.....	95
8.3 생물 농축: 위로 갈수록 진해진다.....	96
8.4 오염을 추적하는 실험 설계	98
8.5 귀납으로 묶기: 생태계와 세포는 같은 방식으로 조절한다	100
제 9장 생물 다양성: 유전자·종·생태계.....	102
9.1 생물 다양성의 세 수준	104
9.2 종 다양성은 종 수만이 아니다.....	105
9.3 지수로 재기: 심프슨 다양성 지수.....	106
9.4 그래프 읽기: 종 수와 종 다양성이 갈라질 때	108
9.5 유전자 다양성이 낮으면: 회복과 멸종이 걸린다.....	109
제 10장 다양성의 뿌리: 유성생식과 유전적 변이.....	113
10.1 무성생식과 유성생식	115
10.2 변이의 세 원천과 돌연변이	116
10.3 2^{23} 을 계산하자	118
10.4 근친도: 얼마나 같은 유전자를 나누어 가졌나	119
10.5 변이가 없으면: 같은 병에 모두 약하다.....	120
제 11장 자연선택과 적응: 변이가 걸러지는 방식.....	124
11.1 다윈의 네 단계.....	126
11.2 눈앞에서 본 자연선택: 세 가지 사례	127
11.3 적응은 ‘좋은 방향’이 아니라 ‘그 환경에 맞는 방향’.....	129
11.4 집단의 유전자 빈도: 하디-바인베르크 평형	130
11.5 유전적 부동과 병목 효과.....	131
제 12장 종이란 무엇인가: 종 분화와 분류 체계.....	134
12.1 종의 정의: 생김새에서 생식으로.....	136
12.2 생식적 격리: 유전자가 섞이지 못하게 하는 벽	137
12.3 이소적 종 분화: 떨어진 곳에서 갈라진다.....	138
12.4 분류 단계와 학명	140
12.5 3억 체계와 계통수 읽기	141
제 13장 식물은 어떻게 땅으로 올라왔나	145
13.1 물을 떠난 식물의 숙제	147
13.2 선대식물: 관다발이 없는 첫 육상 식물	148
13.3 비종자 관다발 식물: 관다발은 있지만 씨가 없다.....	148
13.4 종자식물: 물 없이 수정하고 씨로 지킨다.....	150
13.5 형질로 그리는 식물 계통수	152
제 14장 지구와 실험실 속의 진화와 다양성, 그리고 2부로	156
14.1 다양성을 지키는 법	158
14.2 먹이 사슬로 녹조 줄이기.....	160
14.3 실험실 속의 진화: 방향적 진화.....	162
14.4 몸속의 다양성과 선택: 항원과 항체	164
14.5 기본개념편을 마치며: 2부로 가는 길	164
부록 A. 스스로 풀어 보기: 정답과 해설	166
부록 B. 용어 풀이	170

기출문제와 기본개념.....	179
제 2 부 안내: 기출문제와 기본개념의 목차와 순서	180
0. 이 장의 사용법	181
1. 출제 개념.....	182
1.1 생태계 구성 요소와 개체군 — C1 · C2 · P4.....	182
1.2 개체군 사이의 상호작용과 군집 — C3 · C4	183
1.3 먹이 사슬·먹이 그물과 영양 단계 — C5.....	184
1.4 에너지 흐름과 물질 순환 — C6 · C7	185
1.5 생태계 평형과 생물 농축 — C8 · C9 · P3	186
1.6 생물 다양성과 종 다양성 — C10 · C11	187
1.7 변이·자연선택·종 분화 — C12 · C13 · C14 · P2.....	189
1.8 분류 체계와 식물의 육상 적응 — C15 · C16	190
1.9 응용 — A1 · A2 · A3 · A4 · A5	191
1.10 그래프 개념도 읽는 법	192
2. 출제 경향.....	195
2.1 반복되는 출제 패턴 다섯 가지	197
2.2 학교별 성향	198
논술답안작성 패턴분석	199
제 3 부 안내: 논술답안작성 패턴분석의 목차와 순서	200
3. 답안 작성법.....	202
3.1 자료 해석형 답안의 4단 구조	203
3.2 서술형 답안의 4문장 틀	204
3.3 표기와 용어 규칙	205
3.4 시간 배분과 자기 점검	205
3.5 논술 기본 패턴 5가지와 문항별 적용	206
4. 감점 답안과 우수 답안 비교	208
실전기출문제와 풀이과정	214
제 4 부 안내: 실전기출문제와 풀이과정의 목차와 순서	215
5. 기출문제 전반: 경향·개론·기본 개념.....	217
5.1 한눈에 보는 기출 8문항	217
5.2 기출 문제는 이렇게 만들어진다 — 개론.....	217
5.3 기본 개념 한눈에	218
5.4 이 책의 기출 분석, 이렇게 읽는다.....	219
6. 출제 문항 분석과 모범답안	221
〈기출문제 1 (연세대 2024년)〉	222
〈기출문제 2 (연세대 2021년)〉	231
〈기출문제 3 (경희대 2020년)〉	241
〈기출문제 4 (경희대 2020년)〉	250
〈기출문제 5 (경희대 2020년)〉	259
〈기출문제 6 (경희대 2020년)〉	268
〈기출문제 7 (고려대 2013년)〉	278
〈기출문제 8 (경희대 2009년)〉	289
7. 변형·예상 문항	300

8. 강의 연결.....	307
8.1 회차별 학습 확인 체크리스트	308
8.2 강의 구성 시 유의점	308
9. 전체 문제 총평	310
9.1 숫자로 먼저 보기	310
9.2 다섯 가지 총평.....	310
9.3 대학별 한 줄 총평	312
9.4 이렇게 공부하자	312
10. 참고문헌.....	313

그림 목록

그림 1. 그림 요약: 생태·진화 논제의 네 장면.....	1
그림 2. 제 1장 개념도	16
그림 3. 생활 속 개념도 1.....	17
그림 4. 생태계 구성 요소의 관계.....	19
그림 5. 빛의 세기와 양엽·음엽의 광합성.....	20
그림 6. 생태학의 다섯 층.....	23
그림 7. 제 2장 개념도	27
그림 8. 생활 속 개념도 2.....	28
그림 9. 지수 성장과 로지스틱 성장.....	32
그림 10. 생존 곡선의 세 유형	34
그림 11. 연령 피라미드의 세 유형.....	35
그림 12. 제 3장 개념도	38
그림 13. 생활 속 개념도 3.....	39
그림 14. 짝신벌레의 경쟁 배타	41
그림 15. 포식자-피식자 진동.....	43
그림 16. 상호작용의 부호 칸	45
그림 17. 제 4장 개념도	48
그림 18. 생활 속 개념도 4.....	49
그림 19. 방형구 조사 결과.....	51
그림 20. 1차 천이와 2차 천이.....	53
그림 21. 숲 바닥의 빛과 묘목의 순광합성.....	54
그림 22. 제 5장 개념도	59
그림 23. 생활 속 개념도 5.....	60
그림 24. 논이 먹이 그물	63
그림 25. 사슴과 그물에서 한 종이 사라질 때.....	65
그림 26. 핵심종 제거 실험.....	66
그림 27. 제 6장 개념도	70
그림 28. 생활 속 개념도 6.....	71
그림 29. 총생산량·순생산량·성장량.....	73
그림 30. 영양 단계를 따른 에너지 흐름	74
그림 31. 생태 피라미드	77
그림 32. 제 7장 개념도	81
그림 33. 생활 속 개념도 7	82
그림 34. 탄소 순환.....	84
그림 35. 질소 순환.....	86
그림 36. 부영양화와 산소 고갈	89
그림 37. 제 8장 개념도	92
그림 38. 생활 속 개념도 8.....	93
그림 39. 평형의 회복과 시간 지연.....	95
그림 40. DDT의 생물 농축	97
그림 41. 오염 추적의 두 대조군	99
그림 42. 제 9장 개념도	102
그림 43. 생활 속 개념도 9.....	103
그림 44. 생물 다양성의 세 수준	105
그림 45. 종 수가 같은 두 군집의 다양성	107
그림 46. 종 수와 종 다양성의 시간 변화	108
그림 47. 유전자 다양성과 회복	110

그림 48. 제 10장 개념도	113
그림 49. 생활 속 개념도 10	114
그림 50. 독립 분리로 생기는 생식세포 네 종류	116
그림 51. 염색체 쌍 수와 생식세포 종류	119
그림 52. 복제 집단과 유성생식 집단의 생존	121
그림 53. 제 11장 개념도	124
그림 54. 생활 속 개념도 11	125
그림 55. 항생제 처리와 내성 비율	128
그림 56. 하디-바인베르크 유전자형 빈도	130
그림 57. 집단 크기와 유전적 부동	131
그림 58. 제 12장 개념도	134
그림 59. 생활 속 개념도 12	135
그림 60. 이소적 종 분화	139
그림 61. 3역 체계의 계통수	141
그림 62. 문제 12.2의 계통수	142
그림 63. 딕티오스텔리움의 생활사	143
그림 64. 제 13장 개념도	145
그림 65. 생활 속 개념도 13	146
그림 66. 양치식물의 생활사	149
그림 67. 속씨식물의 꽃 단면	151
그림 68. 형질로 그린 식물 계통수	153
그림 69. 제 14장 개념도	156
그림 70. 생활 속 개념도 14	157
그림 71. 서식지 조각과 생태 통로	159
그림 72. 영양 단계 연쇄로 녹조 줄이기	161
그림 73. 방향적 진화의 순환과 농축	162
그림 74. 로지스틱 곡선 두 개	183
그림 75. 종 다양성 지도	188
그림 76. 전체 개념 그래프	193
그림 77. 개념별 출제 횟수	194
그림 78. 연도별 출제 문항 수	195
그림 79. 대학별 출제 문항 수	196
그림 80. 자료 해석형 풀이 절차	202
그림 81. 〈연세대 2024〉 개념 그래프	223
그림 82. 식물 계통수와 육상 적응 형질	227
그림 83. 〈연세대 2021〉 개념 그래프	232
그림 84. 생태계와 세포의 같은 조절 고리	235
그림 85. 〈경희대 2020〉 개념 그래프	242
그림 86. 종 수와 종 다양성 그래프(재구성)	245
그림 87. 생태계 A·B의 먹이 관계(원문 그림)	250
그림 88. 〈경희대 2020〉 개념 그래프	251
그림 89. 〈경희대 2020〉 개념 그래프	260
그림 90. 종 X의 개체수(원문 그림 재작도)	263
그림 91. 〈경희대 2020〉 개념 그래프	269
그림 92. 세 시료의 세균 농도 비교	271
그림 93. 〈고려대 2013〉 개념 그래프	279
그림 94. 딕티오스텔리움의 생활사	282
그림 95. 〈경희대 2009〉 개념 그래프	290
그림 96. 먹이 사슬과 영양 단계 연쇄	294

그림 97. 동물성 플랑크톤의 로지스틱 곡선.....296

표 목록

표 1. 기본개념편의 다섯 구간과 장.....	12
표 2. 기본개념편 장별 목차와 새로 배우는 개념	12
표 3. 제 1장의 개념이 쓰인 기출	16
표 4. 작용·반작용·상호 작용	20
표 5. 제 2장의 개념이 쓰인 기출	27
표 6. 개체군 밀도를 바꾸는 네 요인.....	29
표 7. 생존 곡선 세 유형의 비교	34
표 8. 제 3장의 개념이 쓰인 기출	38
표 9. 개체군 사이의 상호작용과 부호	44
표 10. 제 4장의 개념이 쓰인 기출	48
표 11. 방형구 10개 조사로 구한 중요치.....	51
표 12. 제 5장의 개념이 쓰인 기출	59
표 13. 벼에서 매에 이르는 경로와 매의 영양 단계	63
표 14. 제 6장의 개념이 쓰인 기출	70
표 15. 영양 단계별 에너지와 에너지 효율(교과서 어림값, 상댓값).....	75
표 16. 제 7장의 개념이 쓰인 기출	81
표 17. 질소 순환의 단계	86
표 18. 제 8장의 개념이 쓰인 기출	92
표 19. 생태계 평형을 깨는 원인과 그 결과	96
표 20. 가상의 오염 추적 자료	99
표 21. 제 9장의 개념이 쓰인 기출	102
표 22. 생물 다양성의 세 수준 비교.....	105
표 23. 군집 A와 B의 Σp^2 계산	107
표 24. 제 10장의 개념이 쓰인 기출	113
표 25. 무성생식과 유성생식의 비교.....	115
표 26. 근친도(두 사람이 같은 조상에게서 받아 함께 가진 유전자의 비율, 기댓값).....	120
표 27. 제 11장의 개념이 쓰인 기출	124
표 28. 자연선택의 네 단계와 항생제 내성 세균의 대응	127
표 29. 제 12장의 개념이 쓰인 기출	134
표 30. 생식적 격리의 종류와 예	137
표 31. 사람의 분류 단계	140
표 32. 제 13장의 개념이 쓰인 기출	145
표 33. 식물 네 무리의 형질 비교	152
표 34. 제 14장의 개념이 쓰인 기출	156
표 35. 녹조 대책의 비교	161
표 36. 자연선택과 방향적 진화의 비교	163
표 37. 2부 목차와 내용	180
표 38. 개체군 밀도를 바꾸는 네 요인과 계산 예	182
표 39. 개체군 사이 상호작용의 부호와 예	184
표 40. 먹이 사슬(생태계 A)과 먹이 그물(생태계 B)에서 매의 영양 단계.....	185
표 41. 질소 순환의 단계와 담당 생물.....	186
표 42. 경희대 2020 모의 의학계 [논제 II-1]의 자료와 그 역할(세습 농	187
표 43. 실험 설계를 읽는 다섯 낱말	187
표 44. 자연선택의 네 단계와 사례 대응	189
표 45. 생식적 격리의 종류와 예	189
표 46. 식물 분류군의 형질 비교	190
표 47. 응용 개념 다섯 개	191

표 48. 이 책의 기출 문항 목록	195
표 49. 대학별 출제 문항	196
표 50. 문항별 요구 개념 수와 최대 층	196
표 51. 학교별 성향(이 책의 자료 범위 안에서)	198
표 52. 생물 권 논술 기본 패턴 다섯 가지와 쓰는 순서	200
표 53. 논술답안작성 패턴분석(3부) 목차와 내용	200
표 54. 자료의 모양과 그 모양이 뜻하는 것	203
표 55. 서술형 답안의 문장 틀(원리 설명)	204
표 56. 판별형 답안의 문장 틀	205
표 57. 시간 배분의 예	206
표 58. 논술 기본 패턴 5가지	206
표 59. 문항별 소문항에 적용한 패턴	206
표 60. 이 책의 기출 문항 목록	215
표 61. 실전기출문제와 풀이과정(4부) 장별 내용	215
표 62. 대학별 기출 문항 수·연도·소재	217
표 63. 학년도별 문항 수	217
표 64. 소문항에 적용한 답안 패턴의 분포(15개 소문항, 두 패턴을 결합한 소문	218
표 65. 기본 개념 한눈에(기출 빈도 순)	218
표 66. 문항 한 개의 구성과 읽는 목적	219
표 67. 기출문제 1의 개념과 복습 위치	223
표 68. 소문항별 요구 사항과 난이도	224
표 69. 식물 분류의 세 기준과 두 제시문의 판정	225
표 70. 기출문제 2의 개념과 복습 위치	232
표 71. 소문항별 요구 사항과 난이도	234
표 72. [가]와 [나]를 같은 틀로 비교(이 책이 정리한 표)	235
표 73. 기출문제 3의 개념과 복습 위치	242
표 74. 소문항별 요구 사항과 난이도	244
표 75. 구간 II의 네 종 비율과 종 다양성(이 책이 그래프를 다시 그릴 때 쓴	245
표 76. 기출문제 4의 개념과 복습 위치	251
표 77. 소문항별 요구 사항과 난이도	253
표 78. 생태계 B에서 생산자부터 매까지의 경로(화살표 수 = 매의 소비자 차수)	254
표 79. 기출문제 5의 개념과 복습 위치	260
표 80. 소문항별 요구 사항과 난이도	262
표 81. 지역 A와 B의 비교(이 책이 정리한 표)	263
표 82. 원문 표(다시 조판)	268
표 83. 기출문제 6의 개념과 복습 위치	269
표 84. 소문항별 요구 사항과 난이도	270
표 85. 기출문제 7의 개념과 복습 위치	279
표 86. 소문항별 요구 사항과 난이도	281
표 87. 기출문제 8의 개념과 복습 위치	290
표 88. 소문항별 요구 사항과 난이도	292
표 89. 인강 회차 구성(제안)	307
표 90. 8개 문항의 규모	310
표 91. 대학별 출제 특징(자료를 구한 범위 안에서)	312

제 1 부

기본개념편

이 단원의 개념을 처음부터 차근차근. 대화로 묻고 답하며, 숫자를 직접 넣어 계산한다.

생태·진화·생물 다양성

제 1 부 안내: 기본개념편을 어떻게 읽는가

기본개념편은 생태계를 이루는 것들 → 개체군 → 개체군 사이의 관계와 군집 → 먹이 그물·에너지·물질 → 평형과 생물 농축 → 생물 다양성 → 변이와 자연선택 → 종과 분류 → 식물의 육상 진출 → 응용의 순서로 이어진다. 앞 장의 결과가 다음 장의 재료가 되므로, 처음 읽을 때는 순서대로 읽는 것이 가장 빠르다.

1. 전체 길 — 다섯 구간

표 1. 기본개념편의 다섯 구간과 장 — 구간마다 무엇을 배우는가

구간	장	무엇을 배우나
A. 생태계와 개체군	1~2장	생물과 환경이 어떻게 서로 영향을 주는지 보고, 개체군이 늘다가 멈추는 생장 곡선을 그래프와 식으로 읽는다.
B. 관계와 군집	3~5장	경쟁·포식·공생 같은 개체군 사이의 관계, 군집의 천이, 먹이 사슬과 먹이 그물의 영양 단계를 다룬다.
C. 에너지·물질·평형	6~8장	에너지는 흐르고 물질은 순환한다는 원리로 생태 피라미드·부영양화를 설명하고, 생태계 평형과 생물 농축을 자료로 읽는다.
D. 다양성과 진화	9~12장	유전자·종·생태계 다양성을 구분하고, 그 뿌리인 유성생식과 변이, 자연선택, 종 분화와 분류 체계로 이어 간다.
E. 확장과 응용	13~14장	식물이 육상 환경에 적응해 온 길을 분류군으로 정리하고, 보전·녹조 관리·방향적 진화 같은 응용을 본 뒤 2부로 간다.

표 1의 다섯 구간 가운데 기출이 가장 자주 쓰는 곳은 B의 먹이 그물(기본개념편 제 5장 (59쪽))과 D의 생물 다양성(기본개념편 제 9장 (102쪽))이다. 이 두 장은 두 번 읽는다.

2. 장마다 같은 순서

모든 장은 〈생활 속 개념도〉 → 〈이 장의 출발점〉 → 본문 대화 → 〈문제〉와 풀이 대화 → 〈핵심〉 → 〈스스로 풀어 보기〉 → 이 장의 참고문헌 순서다. 장의 첫머리에는 이 장의 개념도와 그 개념이 쓰인 기출 표가 있어, 지금 배우는 개념이 나중에 어떤 문제로 나오는지 미리 볼 수 있다. 〈스스로 풀어 보기〉의 정답과 해설은 부록 A에 모아 두었다. 막히면 해설을 먼저 보지 말고, 장 안의 그림과 표로 돌아가 한 번 더 시도한다.

이 단원은 화학 권처럼 긴 계산이 많지 않다. 대신 실험 → 자료 해석 → 결론의 흐름이 계산 자리를 차지한다. 대조군이 무엇인지, 그래프에서 무엇이 변했고 무엇이 그대로인지, 비율이 몇 배인지를 숫자로 적는 연습을 장마다 한다.

3. 장별 목차

표 2. 기본개념편 장별 목차와 새로 배우는 개념

장(쪽)	제목	새로 배우는 개념
기본개념편 제 1장 (16쪽)	왜 생태·진화·생물 다양성인가	생물적 요인 · 비생물적 요인 · 작용과 반작용 · 상호 작용
기본개념편 제 2장 (27쪽)	개체군: 얼마나 늘어날 수 있을까	개체군 밀도 · 출생·사망·이입·이출 · 지수 생장 · 로지스틱 생장 · 환경 수용력

장(쪽)	제목	새로 배우는 개념
기본개념편 제 3장 (38쪽)	함께 살기, 다투며 살기: 개체군 사이의 상호작용	경쟁 · 포식 · 공생 · 기생 · 텃새와 순위제 · 생태적 지위
기본개념편 제 4장 (48쪽)	군집과 천이: 빈 땅은 어떻게 숲이 되나	우점종 · 1차 천이와 2차 천이 · 극상
기본개념편 제 5장 (59쪽)	누가 누구를 먹나: 먹이 사슬과 먹이 그물	생산자·소비자·분해자 · 먹이 사슬 · 먹이 그물 · 영양 단계
기본개념편 제 6장 (70쪽)	에너지는 흐르고 빠져나간다: 생태 피라미드	총생산량·순생산량 · 에너지 효율 · 생태 피라미드
기본개념편 제 7장 (81쪽)	물질은 돈다: 탄소·질소 순환과 부영양화	탄소 순환 · 질소 순환 · 부영양화와 녹조
기본개념편 제 8장 (92쪽)	생태계 평형과 생물 농축	생태계 평형 · 음성 되먹임 · 생물 농축 · 오염 추적 실험
기본개념편 제 9장 (102쪽)	생물 다양성: 유전자·종·생태계	유전자·종·생태계 다양성 · 종 풍부도와 균등도 · 다양성 지수
기본개념편 제 10장 (113쪽)	다양성의 뿌리: 유성생식과 유전적 변이	무성생식과 유성생식 · 독립 분리와 무작위 수정 · 근친도
기본개념편 제 11장 (124쪽)	자연선택과 적응: 변이가 걸려지는 방식	변이 · 자연선택 · 적응 · 하디-바인베르크 평형
기본개념편 제 12장 (134쪽)	종이란 무엇인가: 종 분화와 분류 체계	생물학적 종 · 생식적 격리 · 이소적 종 분화 · 3역 체계와 계통수
기본개념편 제 13장 (145쪽)	식물은 어떻게 땅으로 올라왔나	선대식물 · 비종자 관다발 식물 · 겉씨식물 · 속씨식물 · 육상 적응 형질
기본개념편 제 14장 (156쪽)	지구와 실험실 속의 진화와 다양성, 그리고 2부로	생물 다양성 보전 · 녹조의 생물학적 관리 · 방향적 진화

표 2의 새 개념은 각 장 첫머리의 ‘새 개념’ 줄과 같다.

4. 이렇게 공부하자

- 처음에는 대화를 소리 내어 읽듯 따라가고, 그림의 곡선과 막대에서 숫자를 한 번 직접 읽어 본다.
- 먹이 그물이 나오면 손으로 화살표를 다시 그려 보고, 생물 하나를 지웠을 때 무엇이 늘고 줄지 적어 본다.
- 그래프 문제는 “무엇이 변했나 → 무엇이 그대로인가 → 그 차이를 만든 요인은 무엇인가” 세 줄로 답하는 습관을 들인다.
- 기출 표에 나온 문제는 4부에서 만난다. 지금은 “이 개념이 이런 문제에 쓰이는구나” 정도로 훑는다.

기본개념편을 열며

생태·진화·생물 다양성은 고등학교 생명과학 I의 ‘생태계와 상호 작용’, 생명과학 II의 ‘생물의 진화와 다양성’에서 배우는 단원이고, 대학 논술에서는 그래프·먹이 그물·실험 자료를 주고 변화의 원인을 설명하게 하는 문제로 나온다. 이 기본개념편은 중학교 2학년 수준의 지식(세포와 생물, 광합성과 호흡, 간단한 비율과 그래프)만 있으면 끝까지 따라올 수 있도록 쓴 이야기책이다. 외울 용어를 먼저 주지 않고, 무엇이 왜 변하는가를 먼저 묻고 그다음에 개념의 이름을 붙인다.

등장인물

- 하린·태오 — 남매. 하린은 중학교 2학년, 태오는 논술을 준비하는 고등학교 2학년이다. 궁금한 것은 바로 묻는다.
- 미숙 이모 — 두부집 사장. 텃밭을 가꾸고 장을 보며 일상의 눈으로 질문한다.
- 석 교수 — 충북 단양 ‘돌집 과학방’의 선생님. 은퇴한 화학·생물 교수로, 설명 대신 질문으로 길을 안내한다.

첫 토요일, 강가에서

초가를 토요일 아침, 석 교수는 과학방 대신 남한강 강가로 세 사람을 불러냈다. 물가의 갈대 사이로 작은 물고기 떼가 지나가고, 돌 위에는 물잠자리가 앉아 있었다.

석 교수 오늘은 책상 대신 여기서 시작하자. 이 강가에서 살아 있는 것과 살아 있지 않은 것을 하나씩 말해 볼래?

하린 살아 있는 건 갈대, 물고기, 잠자리요. 살아 있지 않은 건 물, 돌, 햇빛이요.

석 교수 좋다. 생물학에서는 앞의 것을 생물적 요인, 뒤의 것을 비생물적 요인이라고 부른다. 그런데 이 둘이 따로 노는 것 같니?

태오 아니요. 물이 따뜻해지면 물고기가 더 활발해지고, 갈대가 자라면 물살이 느려지잖아요. 서로 영향을 주고받아요.

석 교수 바로 그게 이 단원의 첫 문장이다. 생물과 환경은 서로 영향을 주고받는다. 이 관계 전체를 생태계라고 해.

이모 교수님, 작년 여름에 저 아래 호수가 초록색으로 변해서 물에서 냄새가 났어요. 그것도 이 단원이예요?

석 교수 그렇습니다. 녹조라고 하지요. 물에 질소와 인이 너무 많아지면 식물성 플랑크톤이 폭발적으로 늘어나요. 그걸 먹는 생물을 늘려서 줄이는 방법까지 7장과 14장에서 다룰 겁니다.

하린 물고기가 몇 마리까지 늘어날 수 있는지도 알 수 있어요?

석 교수 먹이와 공간에 한계가 있으니 무한히 늘지는 않는다. 처음에는 빠르게 늘다가 어느 수에서 멈춘다. 그 곡선이 S자 모양이라는 걸 2장에서 직접 계산해 볼 거야.

태오 논술에서는 그런 그래프를 주고 왜 변했는지 쓰라고 하던데요. 먹이 그물에서 개구리가 사라지면 매가 어떻게 되는지 같은 거요.

석 교수 맞다. 그 문제는 5장과 8장을 읽으면 풀 수 있다. 먹이 사슬이 하나뿐인 생태계와 먹이 그물이 복잡한 생태계는 같은 사건에도 전혀 다르게 반응하거든.

이모 그럼 진화는요? 생태계 이야기랑 진화가 왜 한 단원이예요?

석 교수 좋은 질문입니다. 환경이 바뀌면 어떤 개체는 살아남고 어떤 개체는 사라지지요. 살아남는 개체가 자손을 남기면서 집단의 모습이 바뀌는 것, 그게 진화예요. 그래서 생태와 진화는 같은 이야기의 앞뒤입니다.

하린 그럼 생물 다양성은 그 결과물이에요?

석 교수 그렇다. 다양성에는 세 층이 있다. 한 종 안의 유전자 다양성, 여러 종의 종 다양성, 숲·습지·바다 같은 생태계 다양성. 9장에서 이 셋을 구분하는 법을 배운다.

태오 같은 환경 변화를 겪었는데 한 지역 개체군만 사라지는 그래프를 본 적 있어요. 그것도 다양성 문제였어요.

석 교수 그 문제의 답은 유전자 다양성이다. 같은 종이라도 집단 안에 변이가 많으면 바뀐 환경에서 견디는 개체가 있을 확률이 높다. 10장과 11장에서 그 변이가 어디서 오는지까지 따라가 보자.

이모 오늘 강가에서 본 것만으로 책 한 권이 되네요.

석 교수 그래서 이 단원은 외울 것보다 볼 것이 많습니다. 보고, 숫자로 적고, 왜 그런지 한 문장으로 쓰는 것. 그게 열네 장 동안 우리가 할 일이에요.

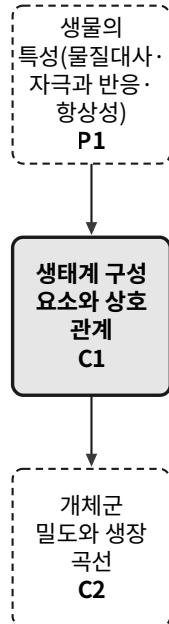
이 기본개념편의 줄거리는 한 줄로 이렇다. 생물은 환경과 서로 영향을 주고받으며 개체군·군집·생태계를 이루고, 그 안에서 에너지는 흐르고 물질은 돈다. 환경이 바뀌면 변이 가운데 일부가 선택되고, 격리가 더해지면 새 종이 생겨 다양성이 쌓인다. **기본개념편 제 1장** (16쪽)에서 그 첫 장면, 생물과 환경의 관계부터 시작한다.

제 1장 왜 생태·진화·생물 다양성인가

새 개념 생물적 요인 · 비생물적 요인 · 작용과 반작용 · 상호 작용

이어짐 개체군 2장 · 먹이 그물 5장 · 생물 다양성 9장 · 자연선택 11장

이 장의 개념도



□ 이 장에서 배우는 개념 □ 앞뒤로 이어지는 개념
화살표: 먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것

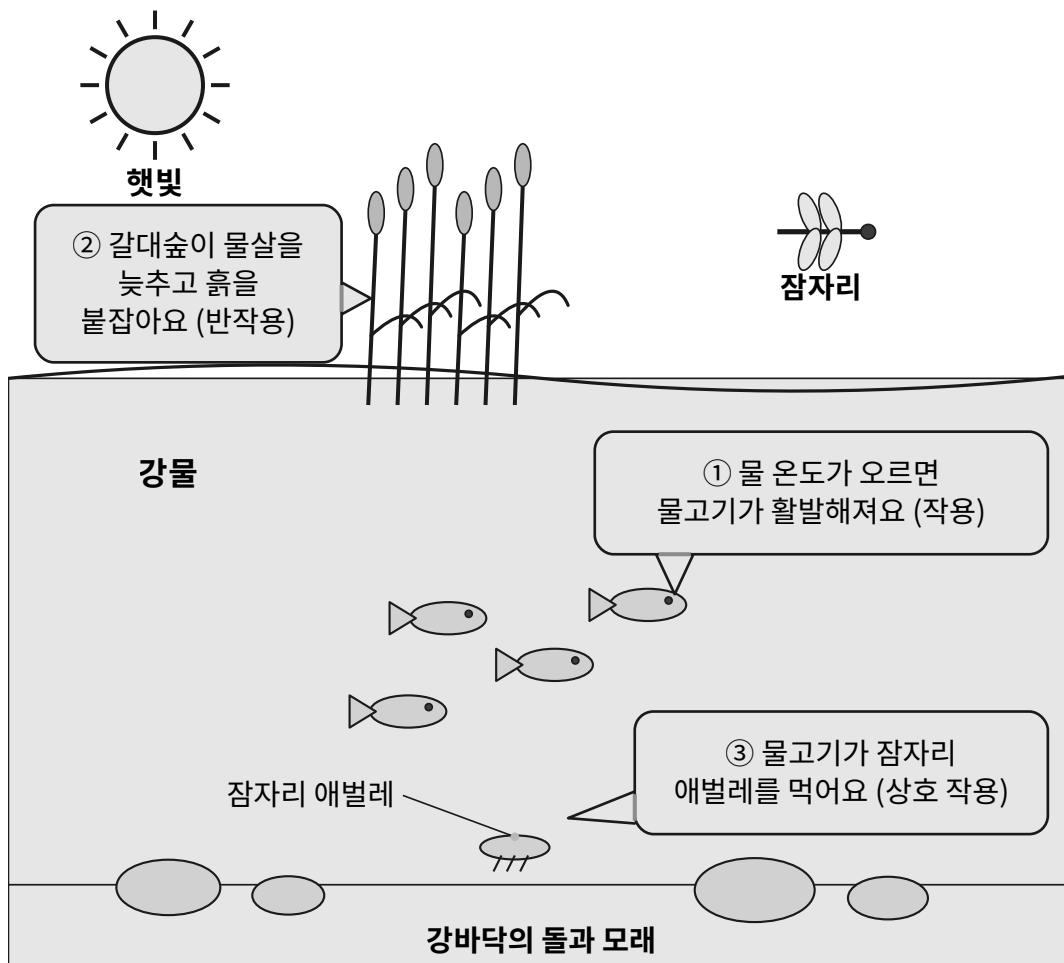
그림 2. 제 1장에서 배우는 개념(C1 생태계 구성 요소와 상호 관계)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

표 3. 제 1장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 이 장에서 알아야 할 개념

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 5 (경희대 2020년) (259쪽)	같은 환경 변화, 갈린 두 개체군의 운명	C1 생태계 구성 요소와 상호 관계

남한강 강가 — 살아 있는 것과 살아 있지 않은 것



④ 살아 있는 것 + 살아 있지 않은 것 = 생태계
 생물적 요인: 갈대(생산자) · 물고기·잠자리(소비자) · 세균(분해자)
 비생물적 요인: 햇빛 · 물 · 온도 · 돌과 모래 · 공기

그림 3. 남한강 강가 한 장면 — 햇빛·물·돌 같은 비생물적 요인과 갈대·물고기·잠자리 애벌레 같은 생물적 요인이 서로 영향을 주고받는다. 화살표의 방향으로 작용·반작용·상호 작용을 구별한다(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 생물적 요인과 비생물적 요인은 서로 영향을 주고받는다.
2. 비생물적 요인이 생물에 영향을 주면 작용, 생물이 비생물적 환경을 바꾸면 반작용이다.
3. 생물끼리 주고받는 영향은 상호 작용이다.

이 장의 출발점

- 생물은 물질대사를 하고, 자극에 반응하며, 몸 안의 상태를 일정하게 유지한다(항상성).
- 광합성은 빛 에너지로 이산화 탄소와 물에서 양분을 만들고, 호흡은 양분을 분해해 에너지를 얻는다.
- 그래프의 가로축·세로축을 읽고, 두 곡선을 같은 가로축 값에서 비교할 줄 안다.

첫 수업은 과학방이 아니라 남한강 강가에서 열렸다. 석 교수는 돌 위에 앉아 강물에 손을 담갔고, 하린은 갈대 사이를 들여다보았다. 이모는 돛자리를 펴고, 태오는 논술 기출 묶음을 무릎에 올려놓았다.

태오 교수님, 이번 권은 생태, 진화, 생물 다양성이 한 권이에요. 단원이 셋인데 왜 한 권으로 묶은 거예요?

석 교수 셋이 결국 한 질문에 대한 답이라서다. “살아 있는 것들은 서로, 그리고 주변 환경과 어떻게 얽혀 있고, 그 얽힘이 시간이 지나면 생물을 어떻게 바꾸는가.” 생태는 지금의 얽힘을, 진화는 오랜 시간에 걸친 변화를, 다양성은 그 결과로 남은 풍경을 본다.

하린 너무 커요. 어디서부터 봐야 해요?

석 교수 눈앞부터 보자. 지금 보이는 것을 두 무리로 나눠 볼래? 살아 있는 것과 살아 있지 않은 것.

하린 살아 있는 건 갈대, 물고기, 잠자리, 돌에 붙은 이끼요. 살아 있지 않은 건 강물, 돌, 모래, 햇빛, 바람이요.

이모 흙은 어느 쪽이에요? 흙 속에는 벌레도 있잖아요.

석 교수 좋은 질문이다. 흙 자체는 광물 알갱이와 물, 공기, 썩은 유기물이 섞인 살아 있지 않은 환경이고, 그 속에 사는 지렁이나 세균은 생물이다. 이렇게 나누는 연습이 오늘의 첫걸음이다.

1.1 생태계는 관계의 이름이다

석 교수 하린이가 나누는 두 무리에 이름을 붙이자. 살아 있는 쪽을 **생물적 요인**, 살아 있지 않은 쪽을 **비생물적 요인**이라고 한다. 비생물적 요인에는 빛, 온도, 물, 토양, 공기가 대표적이다.

태오 생물적 요인은 다시 생산자, 소비자, 분해자로 나누죠?

석 교수 그렇다. **생산자**는 빛 에너지로 무기물에서 유기물을 만드는 생물, 곧 갈대나 강바닥의 조류(물속에서 광합성하는 작은 생물)다. **소비자**는 다른 생물을 먹어 유기물을 얻는 물고기나 잠자리이고, **분해자**는 죽은 생물과 배설물을 무기물로 되돌리는 세균과 곰팡이다.

하린 그럼 생물적 요인과 비생물적 요인을 다 모은 게 생태계예요?

석 교수 반만 맞다. 모아 놓기만 하면 목록일 뿐이다. 생태계라는 말의 핵심은 그 둘이 **서로 영향을 주고받는 관계**에 있다. 1935년에 이 말을 처음 정리한 영국의 생태학자 탠즐리도 생물과 환경을 따로 떼어 볼 수 없는 하나의 체계라고 했다.

태오 생태계는 크기가 정해져 있어요? 강 하나가 생태계예요, 남한강 유역 전체가 생태계예요?

석 교수 크기는 정해져 있지 않다. 연구하는 사람이 경계를 정한다. 작은 어항도, 이 강도, 숲 하나도, 지구 전체도 생태계로 볼 수 있어. 다만 어떤 경계를 잡든 그 안에 생산자와 분해자가 있고, 에너지가 들어오고 물질이 돌아야 생태계라고 부를 만하다.

- 하린** 분해자가 없으면 어떻게 돼요?
- 석 교수** 죽은 갈대와 물고기가 썩지 않고 쌓이겠지. 그러면 그 몸속의 질소와 인이 흙과 물로 돌아가지 못하고, 생산자는 결국 양분이 모자라 자라지 못한다. 눈에 잘 띄지 않는 세균과 곰팡이가 생태계를 굴러가게 하는 셈이다. 7장에서 이 순환을 자세히 본다.
- 이모** 관계가 핵심이라는 게 무슨 뜻이에요? 강에 물고기가 있다, 그게 다 아닌가요?
- 석 교수** 강물이 따뜻해지면 물고기가 활발해진다. 갈대숲은 물살을 늦추고 흙을 붙잡는다. 물고기는 잠자리 애벌레를 먹는다. 이 세 문장이 생태계다. 물고기, 갈대, 물이라는 이름보다 그 사이를 잇는 동사가 중요해. **그림 4**에 그 관계를 화살표로 그렸다.

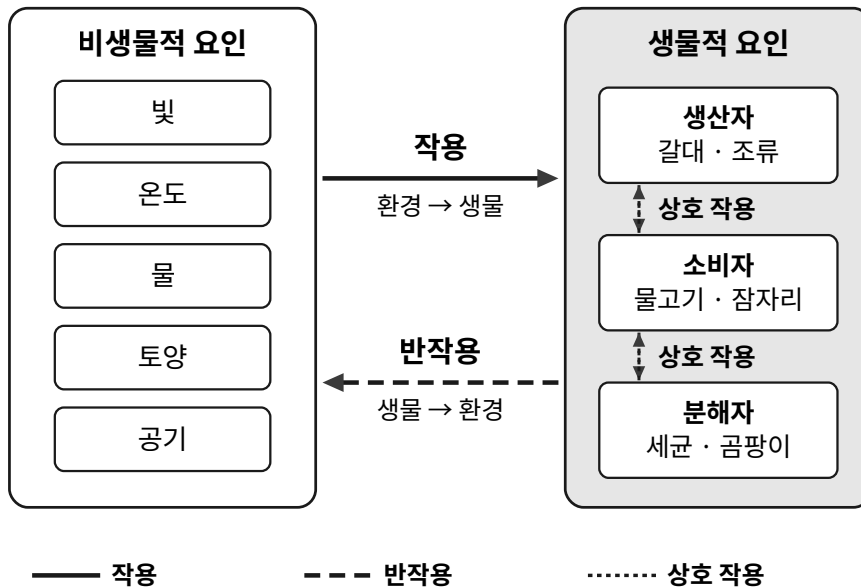


그림 4. 생태계 구성 요소의 관계 — 생물적 요인(생산자·소비자·분해자)과 비생물적 요인(빛·온도·물·토양·공기) 사이의 화살표. 비생물적 요인 → 생물은 작용(실선), 생물 → 비생물적 요인은 반작용(긴 점선), 생물 ↔ 생물은 상호 작용(짧은 점선)이다(모식도)

- 하린** 화살표가 세 가지 선으로 되어 있어요.
- 석 교수** 방향이 셋이라서다. 다음 절에서 하나씩 이름을 붙이자.

1.2 작용·반작용·상호 작용

- 석 교수** 비생물적 요인이 생물에 영향을 주는 것을 **작용**이라 한다. 거꾸로 생물이 비생물적 환경을 바꾸는 것을 **반작용**이라 하고, 생물과 생물이 서로 영향을 주고받는 것을 **상호 작용**이라 한다.
- 태오** 물리의 작용·반작용이랑 이름이 같아서 헷갈려요.
- 석 교수** 이름만 같고 뜻은 다르다. 생태학에서는 “누가 누구를 바꾸었나”로만 판단해. 화살표의 꼬리가 환경이고 머리가 생물이면 작용, 꼬리가 생물이고 머리가 환경이면 반작용, 꼬리와 머리가 모두 생물이면 상호 작용이다. **표 4**에 예를 모았다.

표 4. 작용·반작용·상호 작용 — 화살표 방향과 예

구분	화살표 방향	예
작용	비생물적 요인 → 생물	빛이 약한 곳의 잎이 얇고 넓어진다. 기온이 내려가면 단풍이 든다. 물 온도가 오르면 물고기의 활동이 늘어난다.
반작용	생물 → 비생물적 요인	숲이 우거지면 숲 바닥이 어둡고 습해진다. 지렁이가 굴을 파 흙에 공기가 통한다. 낙엽이 분해되어 흙이 비옥해진다.
상호 작용	생물 ↔ 생물	물고기가 잠자리 애벌레를 먹는다. 개미가 진딧물을 지켜 준다. 같은 꽃의 꿀을 두고 벌들이 다툰다.

이모 빛이 약하면 잎이 넓어진다는 건 처음 들어요.

석 교수 같은 나무에서도 해가 잘 드는 바깥쪽 잎은 작고 두꺼우며, 그늘진 안쪽 잎은 얇고 넓다. 앞의 것을 **양엽**, 뒤의 것을 **음엽**이라 한다. 양엽은 울타리 조직이 여러 층이라 강한 빛을 많이 쓸 수 있고, 음엽은 얇은 대신 넓게 펼쳐 약한 빛을 모은다. 빛이라는 비생물적 요인이 잎의 모양을 바꾸었으니 작용이다.

태오 그럼 어느 쪽 잎이 더 좋은 거예요?

석 교수 빛의 세기에 따라 다르다. 그걸 숫자로 보자. **그림 5**는 빛의 세기에 따른 순광합성 속도를 모식 값으로 그린 것이다. 순광합성 속도는 광합성으로 만드는 양에서 호흡으로 쓰는 양을 뺀 값이야.

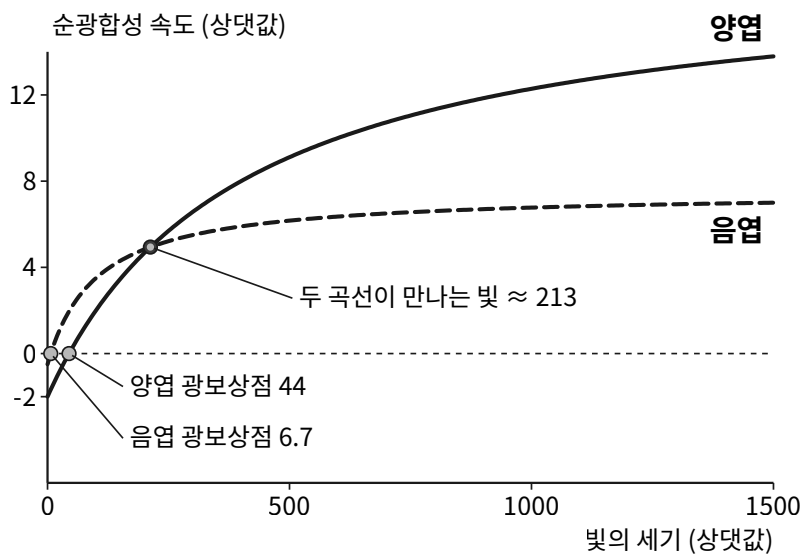


그림 5. 빛의 세기와 순광합성 속도(모식 값) — 양엽은 $P = 20 \cdot I / (I + 400) - 2$, 음엽은 $P = 8 \cdot I / (I + 100) - 0.5$ 로 계산했다. 세로축 0과 만나는 점이 광보상점(양엽 44, 음엽 6.7), 두 곡선은 빛의 세기 약 213에서 만난다(단위는 상대값)

하린 강한 빛에서는 양엽이 훨씬 높고, 아주 약한 빛에서는 음엽이 더 높아요.

석 교수 잘 읽었다. 곡선이 세로축 0과 만나는 빛의 세기를 **광보상점**이라 한다. 그보다 어두우면 호흡으로 쓰는 양이 더 많아서 순광합성이 음수가 돼. 양엽은 호흡량이 커서 광보상점이 높다.

태오 양엽 광보상점을 계산해 볼게요. $20 \cdot I / (I + 400) = 2$ 이니까 $20I = 2I + 800$, $18I = 800$, $I = 44.4$ 예요. 음엽은 $8 \cdot I / (I + 100) = 0.5$ 에서 $8I = 0.5I + 50$, $7.5I = 50$, $I = 6.67$ 이고요.

석 교수 정확하다. 그림의 두 점과 같지? 그늘진 숲 바닥에서 음엽을 가진 식물이 살아남는 이유가 이 숫자에 들어 있다. 빛 10에서 양엽은 아직 손해를 보지만 음엽은 이미 이익을 낸다.

비생물적 요인 하나하나가 하는 일

이모 빛 말고 다른 요인도 생물을 그렇게 바뀌요?

석 교수 교과서에 자주 나오는 예를 요인별로 하나씩 들어 보자. 먼저 빛은 세기만이 아니라 길이와 파장도 중요하다. 하루 중 낮의 길이를 **일조 시간**이라 하는데, 붓꽃이나 시금치처럼 낮이 길어질 때 꽃이 피는 식물이 있고, 국화나 코스모스처럼 낮이 짧아질 때 꽃이 피는 식물이 있다. 바다에서는 깊이에 따라 닿는 빛의 파장이 달라서, 얕은 곳에는 녹조류가, 더 깊은 곳에는 파장이 짧은 빛을 잘 흡수하는 홍조류가 많이 산다.

하린 온도는요?

석 교수 같은 무리의 동물이라도 추운 지방에 사는 쪽이 대체로 몸집이 크고 귀나 꼬리 같은 말단 부위가 작다. 북극여우와 사막여우를 나란히 놓으면 바로 보인다. 몸집이 크면 부피에 비해 겉넓이가 작아 열을 덜 잃고, 귀가 작으면 열이 빠져나가는 면이 줄어든다. 개구리나 뱀이 겨울잠을 자는 것도 낮은 온도에 대한 반응이다.

태오 물은 사막 식물이 떠올라요. 선인장 잎이 가시인 거요.

석 교수 그렇다. 잎을 가시로 바꿔 물이 증발하는 면을 줄이고, 줄기에 물을 저장한다. 동물에서는 파충류의 비늘과 곤충의 키틴 겹겹데기가 몸의 물이 빠져나가는 것을 막는다. 토양과 공기도 마찬가지다. 높은 산처럼 공기 중 산소의 분압이 낮은 곳에 오래 사는 사람은 적혈구 수가 늘어난다.

이모 다 같은 말이에요. 환경이 생물에게 이렇게 살라고 정해 주는 거요.

석 교수 “정해 준다”보다는 “그 환경에서 살 수 있는 모습만 남는다”가 더 정확하다. 이 차이는 11장에서 다시 다룬다. 일단 지금은 이 예들이 모두 같은 방향의 화살표, 곧 비생물적 요인에서 생물로 가는 작용이라는 점만 기억하자.

문제 1.1

다음 여섯 현상을 작용, 반작용, 상호 작용으로 분류하라. (가) 빛이 약한 곳에서 자란 잎이 얇고 넓다. (나) 낙엽이 쌓이고 분해되어 흙이 비옥해진다. (다) 메뚜기가 늘어나자 개구리가 늘었다. (라) 숲이 우거지자 숲 바닥의 빛이 약해지고 습도가 높아졌다. (마) 기온이 내려가자 단풍이 들고 잎이 떨어졌다. (바) 개미가 진딧물을 무당벌레로부터 지켜 준다.

하린 (가)는 방금 배웠으니까 작용이에요. 빛이 잎을 바꿨어요.

태오 (나)는 낙엽이 흙을 바꿨으니까 반작용, (다)는 메뚜기와 개구리가 둘 다 생물이니깐 상호 작용이에요.

이모 (라)도 숲이 빛과 습도를 바꿨으니까 반작용이죠? 그런데 그늘이 생기면 거기 사는 풀도 바뀌잖아요. 그건요?

석 교수 아주 좋은 질문이다. 숲이 그늘을 만든 것은 반작용이고, 그 그늘 때문에 숲 바닥의 풀이 바뀐 것은 다시 작용이다. 한 현상 안에 두 화살표가 이어져 있을 수 있어. 4장의 천이가 바로 반작용과 작용이 번갈아 이어지는 이야기다. 그러니 문제에서 무엇을 주어로 삼았는지를 읽어야 한다. (라)의 주어는 “숲 바닥의 빛과 습도”의 변화니 반작용이다.

하린 (마)는 기온이 낮을 바꿨으니 작용, (바)는 개미와 진딧물, 무당벌레가 다 생물이니 상호 작용이요.

석 교수 정답이다. 작용은 (가)·(마), 반작용은 (나)·(라), 상호 작용은 (다)·(바). 판단 기준은 하나, 영향을 준 쪽과 받은 쪽이 각각 생물인가 아닌가다.

문제 1.2

그림 5의 두 식을 써서 빛의 세기 200(상댓값)과 1000에서 양엽과 음엽의 순광합성 속도를 구하고, 어느 잎이 유리한지 비교하라.

태오 빛 200에서 양엽은 $20 \times 200 \div 600 - 2 = 6.67 - 2 = 4.67$, 음엽은 $8 \times 200 \div 300 - 0.5 = 5.33 - 0.5 = 4.83$ 이에요. 음엽이 조금 더 높아요.

하린 빛 1000에서는 양엽이 $20 \times 1000 \div 1400 - 2 = 14.29 - 2 = 12.29$, 음엽이 $8 \times 1000 \div 1100 - 0.5 = 7.27 - 0.5 = 6.77$ 이에요. 양엽이 거의 두 배예요.

석 교수 둘 다 맞다. 빛 200에서는 음엽이 4.83 대 4.67로 근소하게 유리하고, 빛 1000에서는 양엽이 12.29 대 6.77로 크게 유리하다. 두 곡선은 약 213에서 만나니 그보다 어두우면 음엽, 밝으면 양엽이 유리하다고 결론 짓는다.

태오 숫자만 쓰면 되는 거 아니에요?

석 교수 논술에서는 숫자 다음에 한 문장이 더 필요하다. “같은 빛의 세기에서 비교했다”는 조건과 “그래서 어느 환경에 어느 잎이 적응했는가”라는 해석이다. 자료 해석형 문항은 숫자, 비교, 해석의 세 단계로 쓴다.

1.3 개체군·군집·생태계 — 세 층으로 보기

석 교수 이제 생물적 요인을 묶는 단위를 정리하자. 강가의 피라미 한 마리는 **개체**다. 같은 강에 사는 피라미 전체, 곧 같은 종의 개체들의 모임은 **개체군**이다. 이 강에 사는 피라미, 갈대, 잠자리, 세균 등 여러 개체군의 모임이 **군집**이고, 군집에 비생물적 환경까지 더한 것이 **생태계**다.

하린 개체, 개체군, 군집, 생태계. 점점 커지네요.

석 교수 그 위에 지구 전체의 생태계를 묶은 **생물권**이 있다. **그림 6**처럼 한 겹씩 넓어지는 동심원으로 기억하면 쉽다.

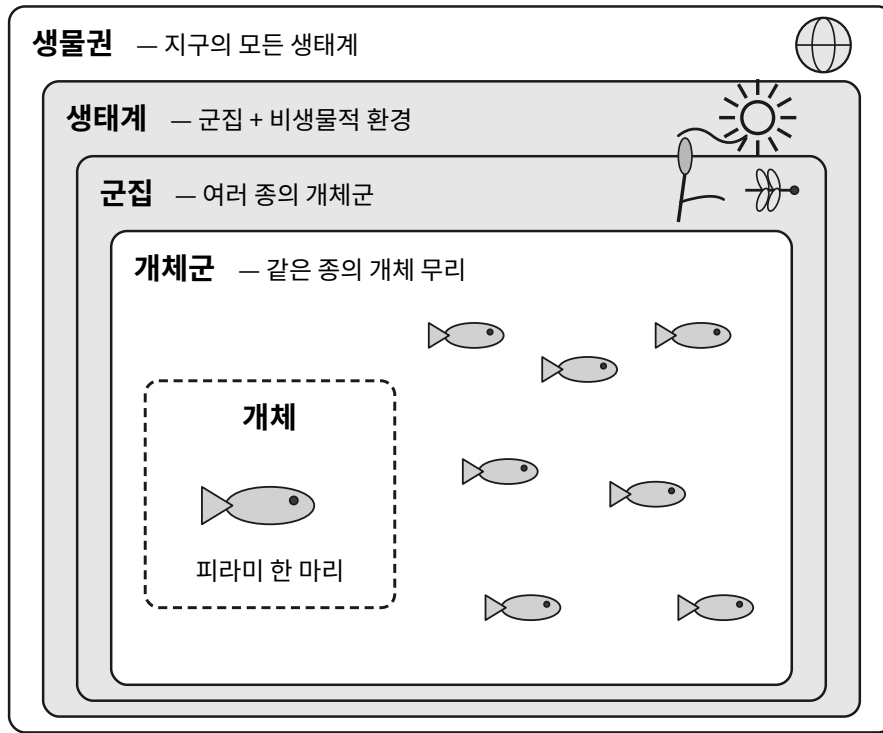


그림 6. 생태학의 다섯 층 — 개체(피라미 한 마리) → 개체군(같은 종 피라미 무리) → 군집(여러 종의 개체군) → 생태계(군집 + 비생물적 환경) → 생물권(지구의 모든 생태계). 안쪽 층은 바깥 층에 포함된다(모식도)

이모 왜 굳이 이렇게 층을 나뉘요? 그냥 강의 생물이라고 하면 되잖아요.

석 교수 층마다 묻는 질문이 달라서다. 개체군 층에서는 “피라미가 몇 마리고 얼마나 빨리 늘어나나”를 묻는다. 그게 2장이다. 군집 층에서는 “피라미와 꺾지가 먹이를 두고 다투나, 시간이 지나면 어떤 종이 우세해지나”를 묻는다. 3장과 4장이다. 생태계 층에서는 “에너지와 물질이 어디로 흐르나”를 묻는다. 5장부터 7장까지다.

태오 기출 문제에서도 층을 섞으면 감점이에요?

석 교수 많이 감점된다. 예를 들어 “종 수”는 군집의 성질이고 “개체수”는 개체군의 성질이다. 군집 그래프를 보고 “개체수가 늘었다”고 쓰면 답이 엇나간다. 문제가 어느 층의 자료를 주었는지를 맨 먼저 확인하는 습관을 들이자.

하린 그럼 생물 다양성은 어느 층이에요?

석 교수 세 층에 걸쳐 있다. 한 개체군 안에서 유전자가 얼마나 다양한가는 개체군 층, 종이 얼마나 다양한가는 군집 층, 생태계 자체가 얼마나 다양한가는 생태계 층이다. 9장에서 이 세 수준을 자세히 나눈다.

관계를 어떻게 확인하나 — 관찰과 대조 실험

태오 그런데 “숲이 그늘을 만들어 풀이 바뀌었다”는 건 어떻게 확신해요? 그냥 우연일 수도 있잖아요.

석 교수 그래서 생태학은 관찰에서 멈추지 않고 실험을 한다. 예를 들어 숲 바닥 두 구역을 고른 뒤 한 구역에만 가림막을 쳐서 빛을 줄이고, 다른 구역은 그대로 둔다. 가림막이 없는 쪽이 **대조군**, 가림막을 친 쪽이 **실험군**이다. 빛만 다르고 흙, 물, 씨앗은 같게 맞춘다. 이렇게 맞추는 조건을 **통제 변인**, 일부러 바꾼 빛을 **조작 변인**이라고 한다.

하린 그러면 두 구역의 풀이 다르게 자라면 빛 때문이라고 말할 수 있겠네요.

석 교수 그렇다. 바꾼 것이 하나뿐이니 결과의 차이를 그 하나에 돌릴 수 있다. 4부의 오염 추적 문제나 생태계 평형 문제도 결국 “무엇을 비교했고 무엇을 같게 맞췄나”를 묻는다. 이 질문을 강가에서부터 몸에 붙여 두자.

1.4 생태와 진화는 한 이야기

이모 생태는 지금 이야기고 진화는 아주 옛날 이야기 같은데, 어떻게 한 이야기예요?

석 교수 진화는 옛날에 끝난 일이 아니라 지금도 생태계 안에서 일어나는 일이다. 이렇게 생각해 보자. 이 강의 피라미드는 모두 똑같지 않다. 몸 크기도, 헤엄 속도도, 찬물에 견디는 정도도 조금씩 다르다. 이 차이를 **변이**라고 한다.

태오 사람마다 키가 다른 것처럼요?

석 교수 그렇다. 이제 어느 겨울 강물이 유난히 차가워졌다고 하자. 찬물에 약한 피라미는 많이 죽고 강한 피라미는 더 많이 살아남는다. 살아남은 피라미가 새끼를 낳으면 다음 세대에는 찬물에 강한 피라미의 비율이 높아지겠지.

하린 환경이라는 비생물적 요인이 누가 살아남을지를 정한 거네요. 그럼 그것도 작용이예요?

석 교수 날카로운 연결이다. 온도가 피라미의 생존에 영향을 준 것은 작용이다. 그런데 그 작용이 세대를 거듭해 개체군 전체의 성질을 바꾸면, 그것을 **자연선택**이라고 부른다. 11장의 주제지. 생태학의 작용이 진화의 재료가 되는 셈이다.

이모 그런데 모든 피라미가 똑같이 찬물에 약했다면요?

석 교수 그러면 모두 같이 죽을 수 있다. 바로 그 차이를 묻는 기출이 4부에 있다. 같은 환경 변화를 겪은 두 개체군 중 하나는 회복하고 하나는 사라지는데, 그 차이가 개체군 안의 유전적 변이, 곧 유전자 다양성에서 온다는 문제다. 다양성이 높다는 것은 바뀐 환경에서 살아남을 개체가 있을 확률이 높다는 뜻이다.

태오 생태, 진화, 다양성이 정말 한 줄로 이어지네요. 환경이 바뀐다, 변이가 있다, 그중 일부가 살아남는다, 그래서 다양성이 중요하다.

석 교수 그 한 줄이 이 책의 등뼈다. 앞으로 열네 장 동안 이 줄을 생태계에서 시작해 유전자까지 따라간다.

하린 이 생각을 처음 한 사람은 누구예요?

석 교수 다윈이다. 1859년에 낸 『종의 기원』의 마지막 문단에서 다윈은 여러 식물이 우거지고 새가 지저귀고 벌레가 날아다니며 지렁이가 흙 속을 기어 다니는 “엷힌 강둑”을 그려 보인다. 그렇게 정교하고 서로 다르며 복잡하게 기대어 사는 생물들이 모두 우리 주변에서 지금도 작동하는 법칙들, 곧 변이와 생존 경쟁과 자연선택으로 만들어졌다는 거야.

이모 지금 우리가 앉아 있는 이 강가가 딱 그 강둑이네요.

석 교수 그래서 첫 수업을 여기서 하고 싶었다. 20세기 생태학자 허친슨은 이 관계를 “생태라는 무대 위에서 진화라는 연극이 펼쳐진다”고 표현했다. 무대가 바뀌면 배우도 바뀌고, 배우들이 무대를 다시 바꾸기도 한다. 비버가 댐을 쌓아 하천을 바꾸는 것처럼, 생물의 반작용이 다음 세대가 겪을 환경을 만들기도 하니까.

태오 논술에서는 그걸 어떻게 물어요?

석 교수 대개 두 가지다. 하나는 그래프 하나를 주고 “환경 변화 → 개체군의 반응 → 원인”을 쓰게 하는 자료 해석형이고, 다른 하나는 생태계 현상과 다른 수준의 현상, 예를 들어 세포 안의 조절을 나란히 주고 공통 원리를 찾게 하는 비교형이다. 둘 다 오늘 그린 화살표에서 시작한다.

1.5 이 장의 줄거리, 그리고 앞으로의 길

석 교수 오늘 배운 것을 세 문장으로 정리해 볼래?

하린 생태계는 생물적 요인과 비생물적 요인이 서로 영향을 주고받는 체계예요. 그 영향은 방향에 따라 작용, 반작용, 상호 작용으로 나뉘요.

태오 생태계는 개체, 개체군, 군집, 생태계, 생물권의 층으로 보고, 층마다 묻는 질문이 달라요.

이모 환경이 바뀌면 살아남는 개체가 달라지고, 그게 쌓이면 진화예요. 그래서 다양성이 중요하고요.

석 교수 잘 정리했다. 앞으로의 길은 이렇다. 2장부터 4장까지는 개체군과 군집을, 5장부터 8장까지는 생태계의 에너지와 물질, 평형을 본다. 9장에서 다양성을 세 수준으로 나누고, 10장부터 13장까지 변이와 자연선택, 종 분화와 분류, 식물의 육상 진출을 다룬 뒤 14장에서 모두를 엮는다.

하린 강가에서 시작해서 유전자까지 가는 거네요.

석 교수 그렇다. 다음 주에는 다시 과학방에서 어항 하나를 놓고 개체군이 얼마나 늘어날 수 있는지 계산해 보자.

핵심 생태계 관계를 판정하는 네 단계

1. 등장하는 것을 생물적 요인(생산자·소비자·분해자)과 비생물적 요인(빛·온도·물·토양·공기)으로 나눈다.
2. 영향을 준 쪽과 받는 쪽을 정한다. 환경 → 생물이면 작용, 생물 → 환경이면 반작용, 생물 ↔ 생물이면 상호 작용이다.
3. 자료가 개체·개체군·군집·생태계 중 어느 층의 것인지 확인한다(개체수는 개체군, 종 수는 군집).
4. 환경 변화가 개체마다 다른 생존을 낳으면 그 결과가 세대를 거쳐 쌓여 진화(자연선택)로 이어진다.

스스로 풀어 보기

1. 다음을 작용, 반작용, 상호 작용으로 분류하라. (1) 일조 시간이 짧아지자 국화가 꽃을 피웠다. (2) 비버가 댐을 쌓아 하천의 물 흐름이 느려졌다. (3) 소나무 숲에서 송충이가 늘자 이를 먹는 새가 늘었다.
2. 개체, 개체군, 군집, 생태계의 차이를 남한강의 예를 들어 한 문장씩 설명하라.
3. **그림 5**의 두 식으로 빛의 세기 100에서 양엽과 음엽의 순광합성 속도를 구하고 어느 잎이 유리한지 쓰라.
4. “환경이 바뀌면 개체군 안의 변이 덕분에 일부가 살아남는다”는 문장이 생태와 진화를 어떻게 잇는지 두 문장으로 설명하라.

정답과 해설은 부록 A에 있다.

이 장의 관계 판정은 4부에서 곧바로 쓰인다. **기출문제 2**(연세대 2021) (231쪽)는 생태계 평형이 깨졌다가 회복되는 과정과 세포 안의 조절 과정을 함께 읽고 공통 원리를 찾게 하는데, 먹이 사슬 속 생물끼리의 상호 작용을 화살표로 정리하는 이 장의 습관이 출발점이다. **기출문제 5**(경희대 2020) (259쪽)은 같은 비생물적 환경 변화를 겪은 두 지역의 개체군이 서로 다르게 반응하는 그래프를 주고 그 원인을 묻는다. 환경의 작용이 개체마다 다른 생존을 낳는다는 이 장 마지막 절의 생각을, 9장의 유전자 다양성과 함께 쓰면 답의 줄기가 선다. 두 문항 모두 답안의 첫 문장에서 “무엇이 무엇에 영향을 주었는가”를 화살표처럼 분명히 써 두면, 뒤따르는 원인 설명이 흔들리지 않는다. 또 두 문항이 주는 자료가 개체군 총의 개체수인지 군집 총의 종 수인지를 먼저 확인하는 것도 이 장에서 익힌 습관이다.

이 장의 참고문헌

Tansley, A. G. (1935). The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16(3), 284–307.
<https://doi.org/10.2307/1930070>

Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2005). *Fundamentals of ecology* (5th ed.). Thomson Brooks/Cole.

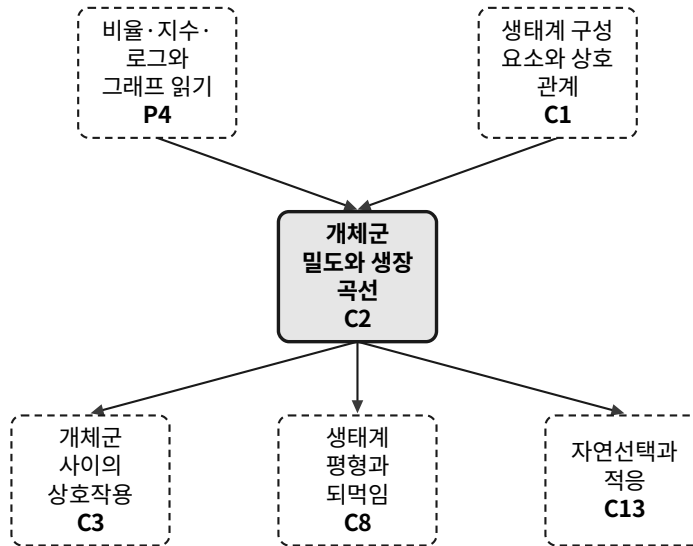
Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, R. B. (2020). *Campbell biology* (12th ed.). Pearson.

제 2장 개체군: 얼마나 늘어날 수 있을까

새 개념 개체군 밀도 · 출생·사망·이입·이출 · 지수 생장 · 로지스틱 생장 · 환경 수용력

이어짐 상호작용 3장 · 생태계 평형 8장 · 녹조 관리 14장

이 장의 개념도



 이 장에서 배우는 개념 앞뒤로 이어지는 개념
 화살표: 먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것

그림 7. 제 2장에서 배우는 개념(C2 개체군 밀도와 생장 곡선)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

표 5. 제 2장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 이 장에서 알아야 할 개념

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 3 (경희대 2020년) (241쪽)	종 수와 종 다양성이 갈라지는 구간	C2 개체군 밀도와 생장 곡선
기출 8 (경희대 2009년) (289쪽)	대청호 녹조와 먹이 사슬, 로지스틱 계산	C2 개체군 밀도와 생장 곡선

어항 속 구피 — 늘어나다 멈추는 S자

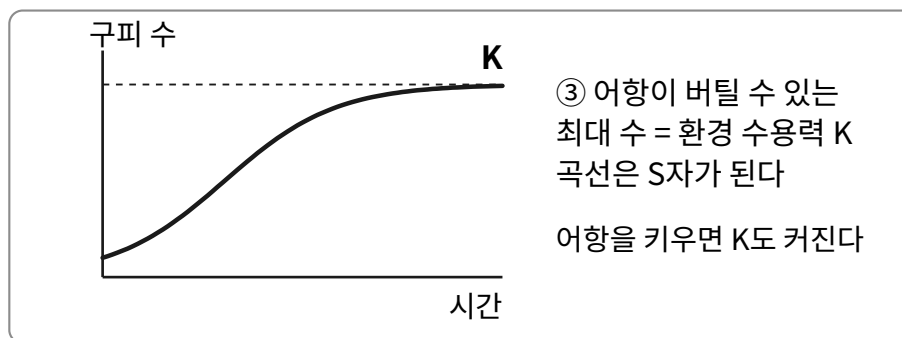
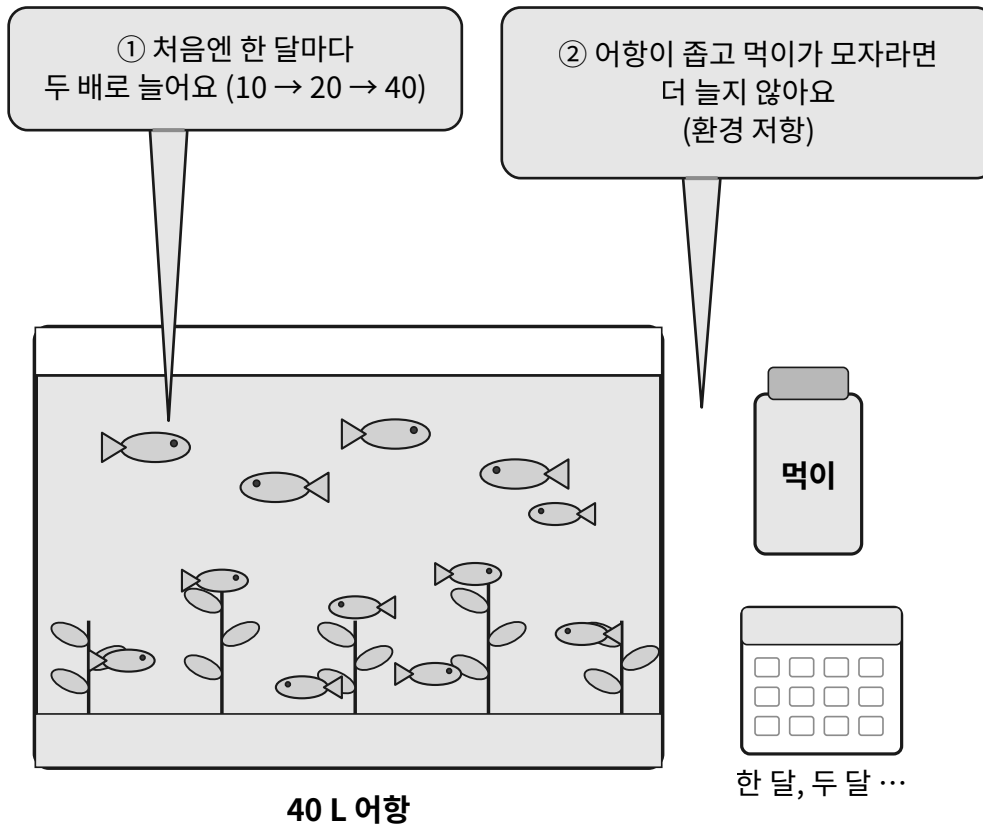


그림 8. 어항 속 구피 — 처음에는 한 달마다 두 배로 늘던 구피가 어항이 좁아지고 먹이가 모자라자 더 늘지 않는다. 어항이 버틸 수 있는 최대 개체수가 환경 수용력이고, 개체수 곡선은 S자가 된다(모식도, 수치는 어림값)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 개체군은 처음에 빠르게 늘다가 환경 저항 때문에 늘지 않게 된다.
2. 그 한계가 환경 수용력이고, 개체수 곡선은 S자가 된다.
3. 개체수를 바꾸는 것은 출생·사망·이입·이출 네 가지다.

이 장의 출발점

- 1장의 개체군: 같은 지역에 사는 같은 종의 개체 무리.
- 2를 거듭 곱하는 거듭제곱($2^3 = 8$)과 상용로그($\log 2 \approx 0.30$, $\log 4 \approx 0.60$).
- 그래프에서 기울기가 가파를수록 변화가 빠르다는 것.

토요일 아침 과학방 창가에 새 어항이 놓였다. 이모가 지난달 시장에서 구피 열 마리를 사 왔는데, 어느새 새끼들이 바글바글하다. 하린은 어항에 코를 대고 마릿수를 세다가 포기했다.

이모 교수님, 이러다 어항이 구피로 꽉 차는 거 아니에요? 한 달 만에 거의 두 배가 된 것 같아요.

석 교수 오늘 수업 재료로 딱 좋다. 이 구피들이 끝없이 늘어날지, 어딘가에서 멈출지 계산해 보자. 지난주 강가에서 본 피라미 무리와 이 어항의 구피 무리는 둘 다 개체군이다. 다만 어항은 벽이 있어서 드나드는 개체가 없다는 점이 다르지.

하린 한 달에 두 배면 계속 두 배가 되는 거 아니에요?

석 교수 그게 오늘의 첫 질문이다. 답을 하려면 먼저 개체군을 세는 말부터 정해야 해.

2.1 개체군 밀도와 네 가지 요인

석 교수 개체군이 얼마나 뻥뻥한지를 나타내는 값을 **개체군 밀도**라고 한다. 일정한 공간에 사는 개체수로 나타내지. 땅 위의 생물이면 면적으로, 물속 생물이면 부피로 나눈다.

$$\text{개체군 밀도} = \text{개체수} \div \text{면적(또는 부피)}$$

태오 이 어항이 40 L에 구피가 지금 20마리면 밀도는 1 L당 0.5마리네요.

석 교수 그렇다. 이제 그 밀도를 바꾸는 것은 무엇일까?

하린 새끼가 태어나면 늘고, 죽으면 줄어요.

석 교수 그 둘이 **출생**과 **사망**이다. 그런데 강이나 숲처럼 열린 곳에서는 두 가지가 더 있다. 다른 곳에서 들어오는 **이입**, 다른 곳으로 나가는 **이출**이다. 어항은 닫혀 있어서 이입과 이출이 없지만, 남한강의 피라미 개체군은 상류와 하류로 오가니 넷을 다 따져야 해. 표 6에 정리했다.

표 6. 개체군 밀도를 바꾸는 네 요인 — 늘리는 쪽과 줄이는 쪽

요인	개체수에 미치는 영향	예
출생	늘린다	구피가 새끼를 낳는다. 개구리 알이 깨어난다.
이입	늘린다	하류의 피라미가 상류로 올라온다. 새 서식지로 철새가 날아든다.
사망	줄인다	겨울 추위나 먹이 부족으로 개체가 죽는다.
이출	줄인다	개체가 봄비는 곳을 떠나 다른 곳으로 옮겨 간다.

$$\text{개체수 변화} = (\text{출생} + \text{이입}) - (\text{사망} + \text{이출})$$

이모 그럼 사람 인구도 같은 식이에요? 태어나는 사람, 이민 오는 사람, 돌아가시는 분, 이민 가는 사람.

석 교수 똑같다. 인구 통계도 이 네 숫자로 계산한다. 하나만 주의하자. 군집 수준의 그래프에서 “종 수”가 늘거나 줄 때도 비슷한 말을 쓴다. 다른 지역에서 새 종이 들어오면 종 수가 늘고, 한 종이 모두 죽거나 떠나면 종 수가 준다. 4부의 종 다양성 문제에서 이 이입과 이출이 원인으로 쓰인다.

문제 2.1

면적 2 km²인 연못가에 개구리 500마리가 산다. 1년 동안 120마리가 태어나고 80마리가 죽었으며, 30마리가 다른 연못에서 들어오고 50마리가 다른 곳으로 떠났다. 1년 뒤 개체수와 개체군 밀도를 구하라.

태오 늘어난 건 $120 + 30 = 150$, 줄어든 건 $80 + 50 = 130$. $500 + 150 - 130 = 520$ 마리예요.

하린 밀도는 $520 \div 2 = 260$ 마리/km²요.

석 교수 정답이다. 1년 뒤 520마리, 밀도 260마리/km²다. 처음 밀도 250마리/km²에서 4 % 늘었지. 이 문제에서 이입과 이출을 빼면 $500 + 120 - 80 = 540$ 마리로 20마리를 잘못 세게 된다. 열린 개체군에서는 넷을 다 써야 한다.

2.2 몇 마리인지 세는 법 — 방형구법과 표지 재포획법

하린 그런데 연못의 개구리 500마리는 어떻게 세요? 다 잡아서 세요?

석 교수 다 잡을 수는 없지. 그래서 두 가지 방법을 쓴다. 풀이나 나무처럼 움직이지 않는 생물은 **방형구법**을 쓴다. 일정한 크기의 네모 틀(방형구)을 여러 곳에 놓고 그 안의 개체를 센 다음, 평균을 전체 면적으로 늘린다.

태오 1 m² 방형구 10개에서 민들레를 세었더니 평균 6포기면, 전체 500 m²에는 3000포기쯤 있다는 거죠.

석 교수 그렇다. 방형구를 여기저기 고르게, 또는 무작위로 놓아야 한다는 조건이 붙는다. 한쪽에만 놓으면 그곳의 밀도가 전체를 대표하지 못해. 예를 들어 햇볕이 잘 드는 길가에만 방형구를 놓으면 민들레가 많이 세어져 전체를 크게 어렵하게 된다. 그래서 운동장 지도에 격자를 그리고 번호를 뽑아 자리를 정하는 식으로 무작위를 만든다. 방형구 수를 늘릴수록 평균이 실제 밀도에 가까워진다는 점도 기억해 두자. 움직이는 동물에게는 **표지 재포획법**을 쓴다. 먼저 몇 마리를 잡아 표지를 하고 놓아준다. 시간이 지나 표지한 개체가 고루 섞인 뒤 다시 잡아서, 그중 표지가 있는 비율을 본다.

문제 2.2

연못에서 개구리 50마리를 잡아 등에 작은 표지를 하고 놓아주었다. 일주일 뒤 40마리를 잡았더니 그중 8마리에 표지가 있었다. 연못의 개구리 수를 어렵하고, 이 계산이 맞으려면 어떤 가정이 필요한지 쓰라.

하린 두 번째로 잡은 40마리 중 8마리, 곧 5분의 1이 표지가 있어요. 그럼 전체에서도 표지한 50마리가 5분의 1이겠네요. $50 \times 5 = 250$ 마리요.

석 교수 맞다. 식으로 쓰면 이렇다. 처음 표지한 수를 M, 두 번째로 잡은 수를 C, 그중 표지된 수를 R이라 하면 전체 N은

$$N = M \times C \div R = 50 \times 40 \div 8 = 250(\text{마리})$$

- 태오** 가정은 표지한 개구리가 잘 섞였다는 거요.
- 석 교수** 그게 첫째다. 둘째, 표지가 개구리의 생존이나 잡히는 정도에 영향을 주지 않아야 한다. 표지가 눈에 띄어 뱀에게 더 잘 잡아먹힌다면 R이 줄어 N을 크게 어렵하겠지. 셋째, 두 번 잡는 사이에 출생·사망·이입·이출이 거의 없어야 한다.
- 이모** 표지가 떨어져 버리면요?
- 석 교수** 그것도 R을 줄여 실제보다 많다고 어렵하게 만든다. 그래서 논술에서는 계산값 250 다음에 “이 값은 세 가지 가정 아래의 어렵값이다”라고 덧붙여야 완성된 답이 된다. 실험 설계 문제에서는 가정이 깨지는 경우를 하나 들고 결과가 커지는지 작아지는지까지 쓰면 좋다.

2.3 J자와 S자 — 지수 성장과 로지스틱 성장

- 석 교수** 이제 구피 질문으로 돌아가자. 구피 10마리가 한 달에 두 배씩 늘어난다면 석 달 뒤에는?
- 태오** $10 \rightarrow 20 \rightarrow 40 \rightarrow 80$. 80마리예요. 1년이면 $2^{12} = 4096$ 배니까 4만 960마리요.
- 이모** 4만 마리요? 어항 40 L예요? 말이 안 돼요.
- 석 교수** 그래서 실제로는 그렇게 되지 않는다. 먹이와 공간이 무한하고 천적도 없다면 개체군은 일정한 비율로 계속 불어나는데, 이것을 **지수 성장**이라 한다. 그래프는 처음에 완만하다가 점점 가팔라지는 J자다. 식으로는 $N = N_0 \times 2^{(t/T)}$ 로 쓰고, T는 개체수가 두 배가 되는 데 걸리는 시간이다.
- 석 교수** 숫자를 하나 더 보자. $2^{10} = 1024$ 이니 2를 열 번 곱하면 약 천 배, 스무 번이면 약 백만 배다. 두 배씩 늘어나는 것은 처음엔 느려 보여도 금방 감당할 수 없는 크기가 된다.
- 하린** 그럼 실제로는 어떻게 돼요?
- 석 교수** 개체가 늘수록 먹이가 모자라고, 공간이 좁아지고, 노폐물이 쌓이고, 병이 잘 퍼진다. 이렇게 개체군의 증가를 억제하는 요인을 모두 합쳐 **환경 저항**이라 한다. 환경 저항 때문에 증가가 점점 느려지다가, 그 환경이 지탱할 수 있는 최대 개체수에서 멈춘다. 그 최대 개체수를 **환경 수용력**이라 하고 K로 쓴다. 이 S자 곡선이 **로지스틱 성장**이다. 그림 9에 두 곡선을 함께 그렸다.

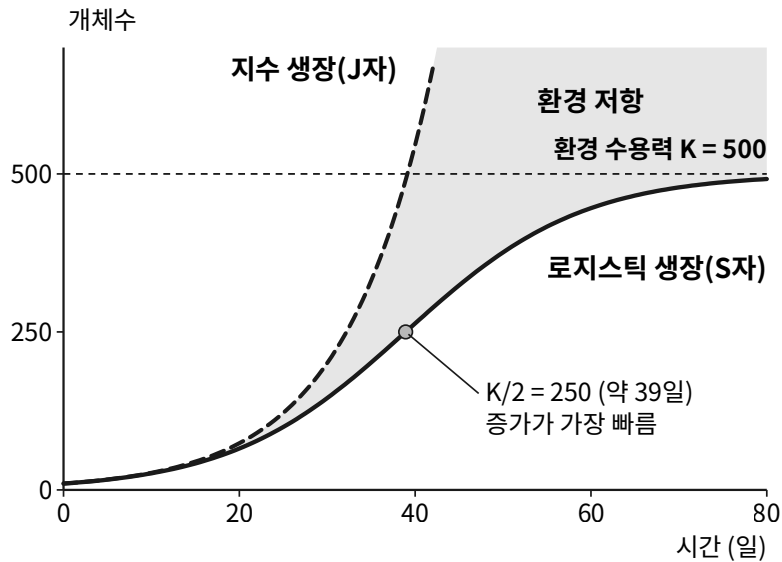


그림 9. 지수 성장과 로지스틱 성장 — 처음 10개체, 증가율 $r=0.1/\text{일}$, 환경 수용력 $K=500$ 으로 계산한 두 곡선. 지수 성장은 $N = 10 \cdot e^{0.1t}$ 로 J자, 로지스틱 성장은 $N = 500/(1 + 49 \cdot e^{-0.1t})$ 로 S자다. 두 곡선 사이의 음영이 환경 저항으로 생기지 못한 개체수다

태오 20일째에 지수 성장은 74마리, 로지스틱은 66마리 정도로 비슷한데, 40일째에는 546 대 264로 벌어져요. 60일째면 지수는 4,034마리인데 로지스틱은 446마리예요.

석 교수 잘 읽었다. 처음에는 환경 저항이 작아서 두 곡선이 거의 겹친다. 개체가 늘수록 저항이 커져서 둘이 갈라지지. 그 사이의 음영이 환경 저항 때문에 태어나지 못했거나 죽은 개체의 몫이다.

하린 로지스틱 곡선에서 가장 가파른 곳은 어디예요?

석 교수 개체수가 K 의 절반, 곧 250마리일 때다. 계산하면 약 39일째야. 그보다 적을 때는 개체가 적어서 느리고, 그보다 많을 때는 환경 저항이 커서 느리다. 그 중간이 가장 빠르다.

태오 그건 식으로 증명할 수 있어요?

석 교수 교과 밖 심화인데, 로지스틱 성장의 증가 속도는 $dN/dt = rN(K - N)/K$ 로 쓴다. N 이 작으면 $(K - N)/K$ 가 거의 1이라 지수 성장과 같고, N 이 K 에 다가가면 0이 되어 증가가 멈춘다. $rN(K - N)$ 은 $N = K/2$ 에서 가장 크다. 교과서에서는 그래프 모양과 K 의 의미만 알면 충분하다.

이모 그럼 우리 어항의 K 는 몇 마리예요?

석 교수 어항 크기, 먹이 양, 물 갈아 주는 횟수에 따라 다르다. 그 점이 중요하다. K 는 생물의 성질이 아니라 그 환경의 성질이다. 어항을 더 큰 것으로 바꾸고 먹이를 늘리면 K 가 커진다. 반대로 물을 덜 갈아 주면 K 가 줄지.

붐빌수록 세지는 저항, 붐비지 않아도 오는 저항

태오 환경 저항에도 종류가 있어요?

석 교수 크게 둘로 나눈다. 먹이 부족, 공간 다툼, 전염병, 노폐물처럼 개체가 뻥뻥할수록 더 세계 작용하는 요인을 **밀도 의존 요인**이라 한다. 반대로 갑작스러운 한파, 홍수, 가뭄처럼 개체가 많은 적든 같은 비율로 개체를 죽이는 요인을 **밀도 비의존 요인**이라 한다.

하린 로지스틱 곡선을 S자로 꺾는 건 어느 쪽이에요?

석 교수 밀도 의존 요인이다. 개체가 늘수록 저항이 커지니 증가가 점점 느려지고, 결국 K에서 멈추지. 밀도 비의존 요인은 곡선을 갑자기 뚝 떨어뜨린다. 4부의 한 문항에는 어느 시점에 두 개체군이 함께 급감하는 그래프가 나오는데, 개체가 많고 적음과 상관없이 닥친 환경 변화, 곧 밀도 비의존 요인으로 읽어야 앞뒤가 맞는다.

이모 그럼 어항에서 물을 안 갈아 줘서 구피가 죽는 건 밀도 의존이겠네요. 구피가 많을수록 물이 빨리 더러워지니까요.

석 교수 정확하다. 그리고 정전으로 히터가 꺼져 물이 차가워진 날 구피가 죽었다면 그건 밀도 비의존이다.

계절 따라 오르내리는 개체군 — 돌말의 예

석 교수 개체군이 K에서 가만히 머무는 것만도 아니다. 호수의 식물성 플랑크톤인 돌말(규조류)은 해마다 비슷한 모양으로 오르내린다. 봄에 빛이 세지고 물이 따뜻해지면 겨울 동안 물 속에 쌓인 영양염류를 써서 폭발적으로 늘어난다. 그러다 영양염류가 바닥나면 초여름에 급감하지.

하린 여름에 빛이 제일 센데 왜 줄어요?

석 교수 빛은 충분한데 영양염류가 모자라서다. 여름에는 따뜻한 빛과 차가운 아랫물이 섞이지 않아서 바닥의 영양염류가 위로 올라오지 못한다. 가을에 물이 식어 위아래가 섞이면 영양염류가 다시 올라와 돌말이 한 번 더 늘고, 겨울에는 빛과 수온이 모자라 다시 준다.

태오 그러니까 그때그때 가장 모자란 것이 개체수를 정하는 거네요. 봄에는 빛과 온도, 여름에는 영양염류.

석 교수 그 생각을 7장에서 제한 요인이라는 이름으로 다시 만난다. 거꾸로 사람이 질소와 인을 호수에 계속 흘려 넣어 영양염류가 바닥나지 않으면, 여름에도 조류가 줄지 않고 늘어나 녹조가 된다. 개체군의 변동이 환경 문제로 이어지는 지점이다.

실제 자료로 본 S자

하린 실제 생물도 정말 S자로 자라요?

석 교수 1930년대 러시아의 가우스는 짚신벌레를 시험관에 넣고 매일 세어 S자를 얻었다. 그보다 앞서 1920년에 미국의 펄과 리드는 미국 인구 자료에 이 식을 맞춰 보았다. 효모를 배양액에서 키워도 S자가 나온다. 다만 자연의 개체군은 날씨나 천적 때문에 K 근처에서 오르내리며 흔들린다. 3장의 포식자-피식자 진동이 그 예다.

태오 K를 넘어서 버리는 경우도 있어요?

석 교수 있다. 유명한 예가 알래스카 앞바다 세인트매슈섬의 순록이다. 1944년에 순록 29마리를 풀어놓았는데, 늑대 같은 천적이 없고 이끼가 풍부해서 1963년에는 약 6,000마리로 불어났다. 그런데 순록이 이끼를 자라는 속도보다 빨리 먹어 치웠고, 그해 겨울 혹독한 추위가 겹치자 개체군이 무너져 몇 해 뒤에는 40여 마리만 남았다.

이모 먹이가 다시 자라기 전에 다 먹어 버린 거네요.

석 교수 그렇다. 먹이 자원이 회복되는 속도보다 개체가 빨리 늘면 개체군은 K를 넘어섰다가 급락할 수 있다. 게다가 먹이가 망가졌으니 그 섬의 K 자체가 줄어들었지. 환경 수용력은 고정된 숫자가 아니라, 개체군이 환경을 어떻게 쓰느냐에 따라 바뀌는 값이다. 1장의 반작용이 개체군 크기에 되돌아오는 예이기도 하다.

2.4 생존 곡선과 연령 피라미드

석 교수 개체군의 성질을 보는 다른 두 그림도 알아 두자. 하나는 **생존 곡선**이다. 같은 때 태어난 1000마리 가운데 나이마다 몇 마리가 살아 있는지를 그린 것이야. 세로축은 로그 눈금으로 그린다. **그림 10**를 보자.

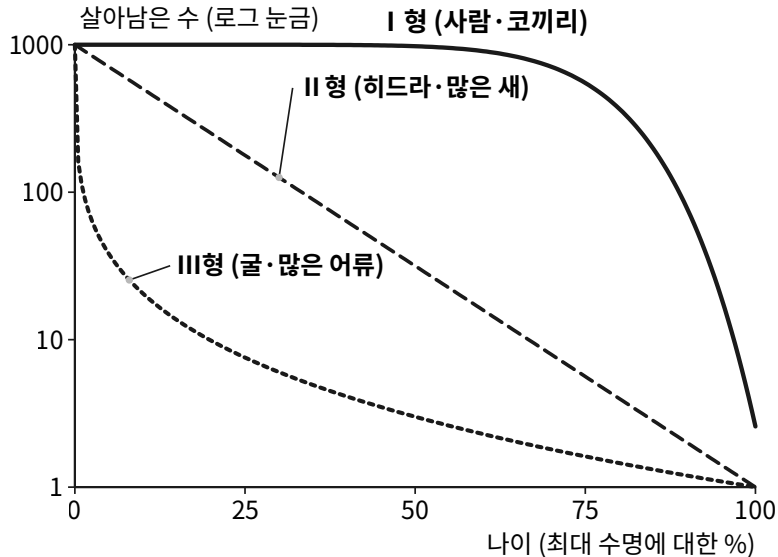


그림 10. 생존 곡선의 세 유형 — 같은 때 태어난 1000개체 중 살아남은 수(세로축 로그 눈금). I 형은 늙어서 많이 죽고(사람·큰 포유류), II 형은 나이에 관계없이 일정한 비율로 죽어 직선이 되며(히드라·많은 새), III 형은 어릴 때 대부분 죽는다(굴·많은 어류). 곡선은 식으로 계산한 모식이다

하린 I 형은 오래 버티다가 끝에 툭 떨어지고, III 형은 처음에 툭 떨어져요.

석 교수 사람이나 코끼리처럼 새끼를 적게 낳고 오래 돌보는 생물은 I 형이다. 굴이나 고등어처럼 알을 엄청나게 많이 낳고 돌보지 않는 생물은 III 형이야. 대부분이 어릴 때 잡아먹히지. II 형은 매년 같은 비율로 죽는 경우인데, 로그 눈금에서 직선이 된다.

태오 왜 로그 눈금이 필요해요?

석 교수 같은 비율로 줄 때 직선이 되게 하려고. $1000 \rightarrow 100 \rightarrow 10 \rightarrow 1$ 처럼 10분의 1씩 줄면 보통 눈금에서는 처음에 확 떨어지고 바닥에서 납작해지지만, 로그 눈금에서는 같은 간격으로 내려간다. 그래서 곡선이 직선에서 위로 볼록하면 “어릴 때 덜 죽는다”, 아래로 오목하면 “어릴 때 더 죽는다”로 읽을 수 있어. **표 7**에 세 유형을 비교했다.

표 7. 생존 곡선 세 유형의 비교

유형	많이 죽는 시기	낳는 자손 수와 돌봄	예
I 형	늙은 시기	적게 낳고 오래 돌본다	사람, 코끼리, 큰 포유류
II 형	나이에 관계없이 일정	중간	히드라, 많은 새
III 형	어린 시기	매우 많이 낳고 돌보지 않는다	굴, 많은 어류, 많은 식물

석 교수 다른 하나는 **연령 피라미드**다. 개체군을 나이대별로 나누어 개체수를 가로 막대로 쌓은 그림이야. **그림 11**처럼 세 모양이 있다.

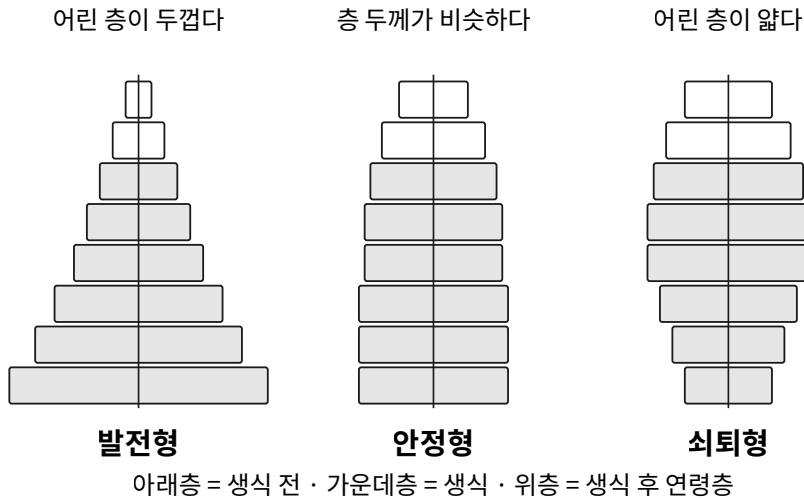


그림 11. 연령 피라미드의 세 유형(모식) — 발전형은 어린 층이 두꺼워 앞으로 개체수가 늘고, 안정형은 층의 두께가 비슷해 개체수가 거의 일정하며, 쇠퇴형은 어린 층이 얇아 앞으로 개체수가 줄어든다. 막대 길이는 나이대별 개체수 비율이다

이모 우리나라는 쇠퇴형이네요. 아이들이 적으니까요.

석 교수 그렇다. 어린 층이 생식 연령에 이르는 앞날의 개체수를 미리 보여 주는 셈이다. 연령 피라미드의 아래쪽은 개체군의 미래다.

하린 왜 아래쪽이 미래예요?

석 교수 피라미드를 세 층으로 나눠 보면 알 수 있다. 맨 아래가 아직 자손을 낳지 않는 생식 전 연령층, 가운데가 자손을 낳는 생식 연령층, 위가 생식 후 연령층이다. 지금 생식 전 연령층이 두꺼우면 몇 년 뒤 생식 연령층이 두꺼워지고, 그만큼 태어나는 개체가 많아진다. 반대로 지금 아래가 얇으면 생식 연령층이 얇아질 것이고, 출생 수가 계속 줄어든다.

태오 그럼 쇠퇴형에서 생식 연령층이 아무리 많이 낳아도요?

석 교수 한 개체가 낳는 수가 늘면 아래쪽이 다시 두꺼워져 모양이 바뀐다. 피라미드는 지금의 사진일 뿐이고, 출생과 사망이 바뀌면 모양도 바뀐다. 다만 그 변화가 위층까지 올라가는 데는 한 세대가 걸린다.

2.5 식으로 읽는 S자

석 교수 이제 논술에 실제로 나온 식을 하나 풀어 보자. 녹조를 일으키는 조류의 개체수가 시간에 따라 이렇게 변한다고 한다.

$$y(t) = 1000 \div (1 + 4 \times 10^{(-0.1t)}) \quad (t: \text{일}, y: 1 \text{ L 당 개체수})$$

태오 $t = 0$ 이면 $10^0 = 1$ 이니까 $1000 \div 5 = 200$ 이네요. 처음에 200개체로 시작해요.

하린 t 가 아주 커지면 $10^{(-0.1t)}$ 가 0에 가까워져서 $1000 \div 1 = 1000$ 이네요. 그게 한계 개체수, 곧 환경 수용력이네요?

석 교수 그렇다. 이 식은 200에서 출발해 1000에 다가가는 S자 곡선이다. 시험에서는 “한계 개체수의 50 %에 이르는 때”를 자주 묻는다.

문제 2.3

위 식에서 개체수가 한계 개체수의 50 %(500)와 80 %(800)에 이르는 날을 구하라. 단, $\log 2 = 0.3$ 으로 계산한다.

태오 50 %는 500이니까 $\dots 1000 \div 2 = 500$, 그러면 $t = 2$ 일? 아, 아니다. 분모 전체가 2가 되어야 해요.

석 교수 그렇다. 식에 값을 넣을 때는 어느 부분이 무엇과 같아지는지 한 줄씩 쓰자. 분모와 지수를 섞으면 실수가 난다.

태오 다시 할게요. $1000 \div (1 + 4 \times 10^{-(0.1t)}) = 500$ 이니까 $1 + 4 \times 10^{-(0.1t)} = 2$, $4 \times 10^{-(0.1t)} = 1$ 이에요. $10^{(0.1t)} = 4$, $0.1t = \log 4 = 2 \log 2 = 0.6$, $t = 6$ 일이에요.

하린 80 %는 $1 + 4 \times 10^{-(0.1t)} = 1000 \div 800 = 1.25$ 니까 $4 \times 10^{-(0.1t)} = 0.25$, $10^{(0.1t)} = 16$ 이에요. $0.1t = \log 16 = 4 \log 2 = 1.2$, $t = 12$ 일어요.

석 교수 둘 다 맞다. 50 %는 6일, 80 %는 12일이다. 정확히 $\log 4 = 0.602$ 를 쓰면 6.02일이니 시험 조건대로 6일로 쓰면 된다. 검산도 해 보자. $t = 12$ 를 넣으면 $10^{(-1.2)} = 0.063$ 이고, $4 \times 0.063 = 0.25$, $1000 \div 1.25 = 800$ 이다.

태오 50 %에서 80 %로 가는 데도 6일이 걸리네요. 처음 200에서 500까지 6일이랑 같아요.

석 교수 좋은 발견이다. S자의 가운데는 빠르고 끝으로 갈수록 느려지지만, 이 식에서는 “남은 몫과 이미 자란 몫의 비”가 일정한 속도로 바뀌기 때문에 그런 규칙이 생긴다. 이 식이 녹조 문제에 나온 까닭은 7장과 14장에서 다시 본다. 영양염류가 계속 들어오면 K 자체가 커져서 녹조가 더 심해지지.

핵심 개체군 문제를 푸는 네 단계

1. 개체군 밀도 = 개체수 $\div$ 면적(부피). 변화 = (출생 + 이입) - (사망 + 이출). 열린 개체군에서는 넷을 다 쓴다.
2. 개체수 어림: 방형구법(움직이지 않는 생물), 표지 재포획법 $N = M \times C \div R$ (움직이는 동물). 가정 세 가지를 함께 쓴다.
3. 무한한 자원에서는 J자(지수 성장), 실제로는 환경 저항 때문에 환경 수용력 K에서 멈추는 S자(로지스틱 성장)다. 증가가 가장 빠른 때는 $N = K/2$ 이다.
4. 로지스틱 식이 주어지면 $t = 0$ 값, 극한값(K), 특정 비율에 이르는 시각을 로그로 차례로 구하고 검산한다.

스스로 풀어 보기

1. 면적 0.5 km^2 인 숲에 다람쥐 300마리가 산다. 1년 동안 출생 90, 사망 60, 이입 10, 이출 40이었다. 1년 뒤 개체군 밀도를 구하라.
2. 표지 재포획법에서 표지가 눈에 띄어 표지한 개체가 포식자에게 더 많이 잡아먹혔다면 어림한 개체수는 실제보다 커지는가, 작아지는가? 이유와 함께 쓰라.
3. 환경 수용력이 생물의 성질이 아니라 환경의 성질인 이유를 어항의 예로 설명하라.
4. $y(t) = 1000 \div (1 + 4 \times 10^{-(0.1t)})$ 에서 $t = 10$ 일 때 개체수를 구하라($10^{(-1)} = 0.1$).

정답과 해설은 부록 A에 있다.

4부의 세 문항이 이 장의 도구를 쓴다. **기출문제 8**(경희대 2009) (289쪽)의 논제 1-2는 바로 이 장에서 푼 로지스틱 식을 주고 극한값과 50 %에 이르는 날을 구하게 하므로, 문제 2.3의 풀이 순서를 그대로 따라가면 된다. **기출문제 3**(경희대 2020) (241쪽)는 군집의 종 수가 늘고 주는 원인을 묻는데, 개체수를 바꾸는 이입과 이출의 논리를 종 수에 옮겨 쓰는 것이 채점 기준의 한 축이다. **기출문제 5**(경희대 2020) (259쪽)에서는 환경 변화 뒤 한 개체군만 다시 늘어나는 그래프가 나오는데, 살아남은 개체들이 새 환경의 수용력까지 다시 S자로 자라는 모습으로 읽으면 그래프의 모양이 설명된다. 세 문항 모두 그래프나 식을 읽은 다음 “왜 그런 모양인가”를 개체군의 네 요인과 환경 저항으로 한 문장씩 설명해야 점수가 온전해진다.

이 장의 참고문헌

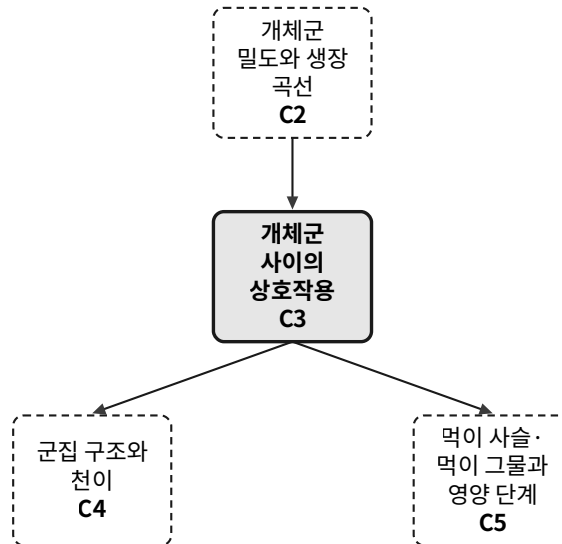
- Pearl, R., & Reed, L. J. (1920). On the rate of growth of the population of the United States since 1790 and its mathematical representation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 6(6), 275–288. <https://doi.org/10.1073/pnas.6.6.275>
- Deevey, E. S., Jr. (1947). Life tables for natural populations of animals. *The Quarterly Review of Biology*, 22(4), 283–314. <https://doi.org/10.1086/395888>
- Klein, D. R. (1968). The introduction, increase, and crash of reindeer on St. Matthew Island. *The Journal of Wildlife Management*, 32(2), 350–367. <https://doi.org/10.2307/3798981>
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, R. B. (2020). *Campbell biology* (12th ed.). Pearson.

제 3장 함께 살기, 다투며 살기: 개체군 사이의 상호작용

새 개념 경쟁 · 경쟁 배타 · 포식과 피식 · 공생 · 기생 · 텃새와 순위제 · 생태적 지위

이어짐 천이 4장 · 먹이 그물 5장 · 방향적 진화 14장

이 장의 개념도



 이 장에서 배우는 개념
 앞뒤로 이어지는 개념
 화살표: 먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것

그림 12. 제 3장에서 배우는 개념(C3 개체군 사이의 상호작용)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

표 8. 제 3장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 이 장에서 알아야 할 개념

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 4 (경희대 2020년) (250쪽)	먹이 사슬과 먹이 그물 속 매	C3 개체군 사이의 상호작용
기출 7 (고려대 2013년) (278쪽)	격리·생활사·협력으로 본 진화	C3 개체군 사이의 상호작용

텃밭 상추 잎 한 장 — 포식 · 공생 · 피식

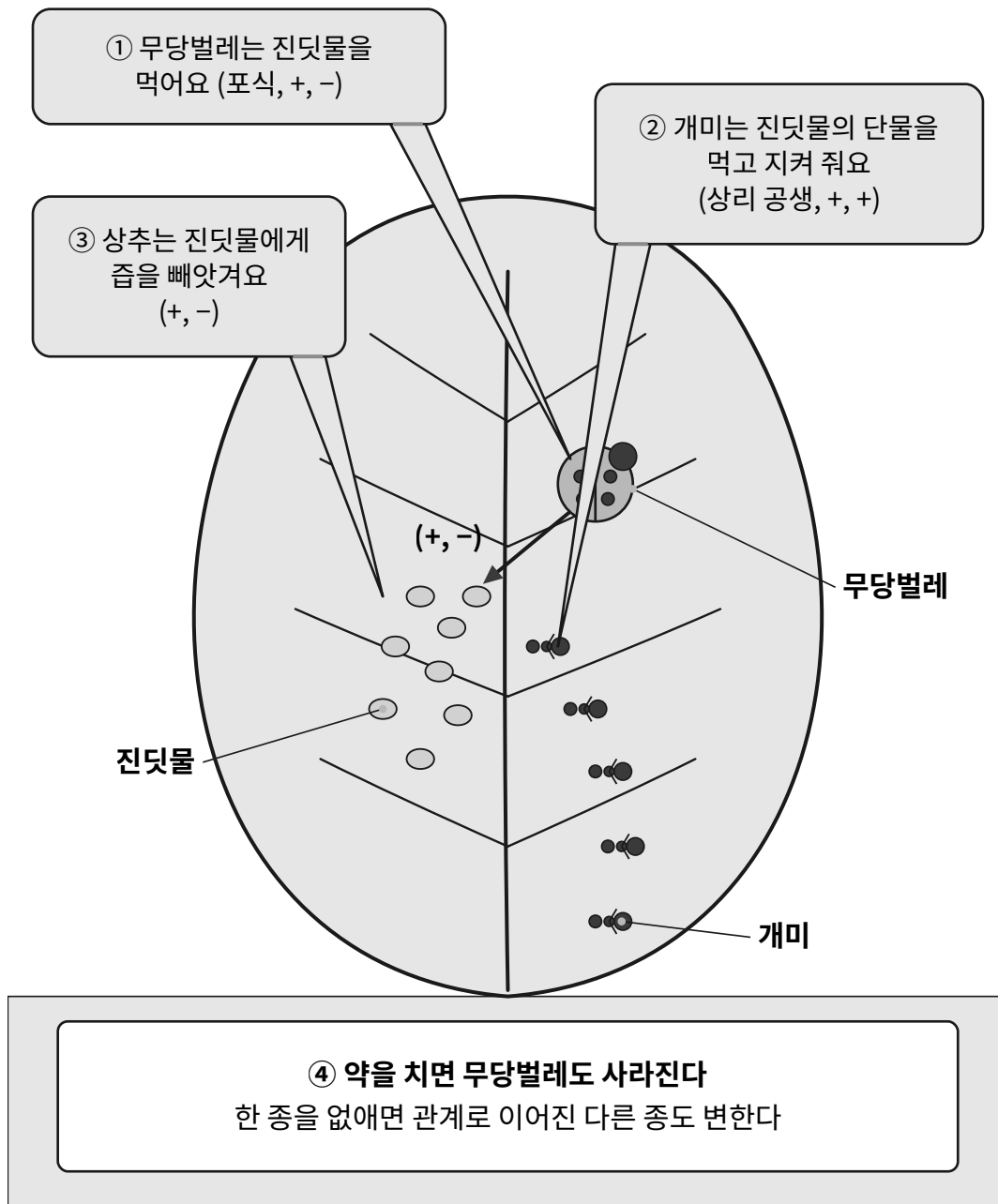


그림 13. 텃밭의 진딧물·무당벌레·개미 — 상추 잎 한 장 위에서 포식(무당벌레가 진딧물을 먹는다), 상리 공생(개미가 진딧물의 단물을 먹고 지켜 준다), 상추가 즙을 빼앗기는 관계가 함께 일어난다. 괄호 속 부호는 두 생물이 얻는 이익(+)과 손해(-)다(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 한 장면 안에 포식·공생·피식이 함께 있다.
2. 관계는 서로에게 주는 이익(+)-손해(-)로 정리한다.
3. 한 종을 없애면 관계로 이어진 다른 종도 변한다.

이 장의 출발점

- 2장의 로지스틱 생장과 환경 수용력 K: 먹이와 공간이 한정되면 개체군은 K에서 멈춘다.
- 1장의 상호 작용: 생물과 생물이 서로 영향을 주고받는 관계.
- 그래프에서 두 곡선의 봉우리가 나타나는 시각을 비교하는 법.

과학방 마당의 작은 텃밭에 이모가 심은 상추가 한창이다. 그런데 이번 주에는 앞 뒷면마다 초록색 진땀물이 다닥다닥 붙어 있었다. 이모가 약을 치려는 순간, 하린이 앞 위를 기어가는 무당벌레와 졸지어 오르내리는 개미를 발견했다.

이모 교수님, 진땀물 때문에 상추가 다 시들겠어요. 약을 칠까요?

석 교수 잠깐만 기다려 보자. 이 앞 한 장 위에서 세 종류의 생물이 서로 다른 관계를 맺고 있다. 온들은 그 관계에 이름을 붙이는 날이다.

하린 무당벌레는 진땀물을 먹는 거죠? 그런데 개미는 왜 진땀물 옆에 있어요?

석 교수 그게 오늘의 재미있는 부분이다. 하나씩 보자. 먼저 같은 종끼리의 관계부터 시작하고, 그 다음 다른 종 사이의 관계로 넘어가자.

3.1 개체군 안의 관계 — 텃세에서 가족까지

석 교수 같은 종의 개체들도 서로 부딪친다. 먹이와 짝과 공간을 두고 다투지. 그 다툼을 줄이는 질서가 몇 가지 있다. 은어는 일정한 구역을 차지하고 다른 은어가 들어오면 쫓아낸다. 이것을 **텃세**라고 한다.

태오 닭들이 모이를 먹을 때 먼저 먹는 닭이 정해져 있다는 것도 들었어요.

석 교수 그게 **순위제**다. 힘의 서열에 따라 먹이와 짝을 차지하는 순서가 정해져 있어서, 매번 싸우지 않아도 된다. 기러기 떼가 이동할 때 경험 많은 한 개체가 앞장서 무리를 이끄는 것은 **리더제**라 한다. 순위제와 달리 리더 한 마리만 정해지고 나머지 사이에는 서열이 없어.

하린 꿀벌은요? 여왕벌, 일벌, 수벌이 하는 일이 다르잖아요.

석 교수 꿀벌과 개미처럼 일을 나누어 맡는 것은 **사회생활**이다. 여왕벌은 알을 낳고, 일벌은 꿀을 모으고 애벌레를 기르고, 수벌은 짝짓기를 맡는다. 마지막으로 사자나 코끼리처럼 혈연관계의 개체들이 무리를 지어 새끼를 함께 돌보는 것은 **가족생활**이다.

태오 텃세 구역의 크기는 정해져 있어요?

석 교수 먹이가 넉넉한 곳에서는 구역이 작고, 먹이가 모자란 곳에서는 넓어진다. 은어는 돌에 붙은 조류를 먹는데, 조류가 많은 여울에서는 좁은 구역으로도 충분하지. 그래서 텃세는 결과적으로 개체군 밀도를 조절하는 장치가 된다. 구역을 얻지 못한 개체는 다른 곳으로 떠나거나 번식에 참여하지 못하니까. 2장의 이출과 밀도 의존 요인이 여기서 다시 나온다.

하린 순위제에서 낮은 순위의 닭은 손해만 보는 거 아니에요?

석 교수 먹이를 늦게 먹으니 손해가 있지만, 매번 싸워서 다치는 것보다는 낫다. 서열이 정해진 무리에서는 싸움 횟수가 눈에 띄게 줄어든다는 관찰이 있다.

이모 다 다투지 않으려고 만든 질서네요.

석 교수 그렇게 볼 수 있다. 질서가 있으면 싸움에 쓰는 에너지가 줄고, 무리 전체가 안정된다. 다만 이것들은 모두 한 개체군 안의 관계다. 이제 다른 종 사이로 넘어가자. 여기서 관계를 정리하는 가장 좋은 도구는 부호다. 한 종이 이익을 보면 +, 손해를 보면 -, 영향이 없으면 0을 붙인다.

3.2 경쟁과 경쟁 배타

석 교수 두 종이 같은 먹이나 공간을 필요로 하면 서로 손해를 본다. 이것을 **경쟁**이라 하고 부호는 (-, -)다. 1934년 러시아의 가우스가 짚신벌레 두 종으로 유명한 실험을 했다. **그림 14**를 보자.

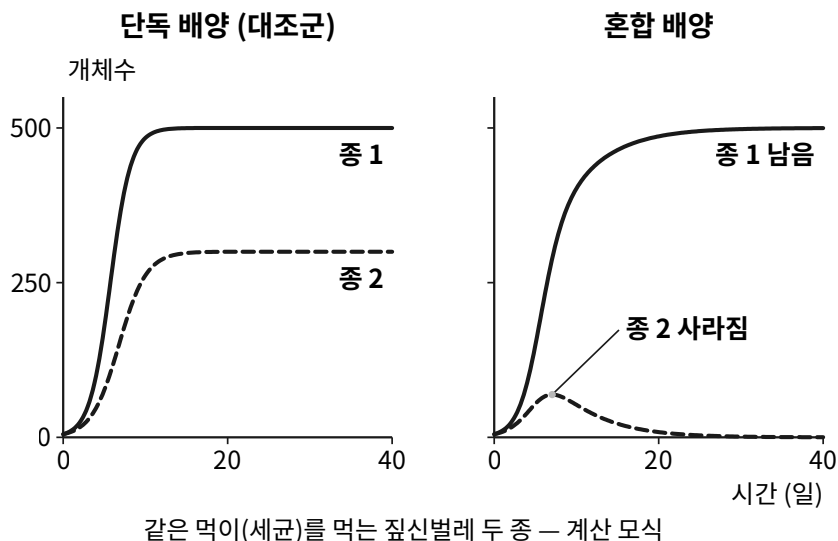


그림 14. 짚신벌레 두 종의 단독 배양과 혼합 배양 — 단독으로 기르면(왼쪽) 두 종 모두 S자로 자라지만, 같은 먹이(세균)를 두고 함께 기르면(오른쪽) 한 종만 남고 다른 종은 사라진다. 가우스(1934)의 실험 결과를 로트카-볼테라 경쟁식(교과 밖 심화)으로 계산해 다시 그린 모식이다

하린 따로 기르면 둘 다 잘 크는데, 같이 기르면 한 종이 사라져요.

태오 그래프에서 혼합 배양의 종 2는 처음 일주일쯤은 같이 늘다가 그 뒤로 줄어들어요. 8일째쯤 약 67마리로 가장 많았다가 40일째에는 거의 0이에요.

석 교수 처음에는 먹이가 넉넉해서 경쟁이 약하다. 두 종이 모두 늘어 먹이가 부족해지는 순간부터 차이가 벌어지지. 이것도 2장의 밀도 의존 요인이다. 그런데 이 실험에서 가장 중요한 것은 왼쪽 그래프다. 따로 기르는 단독 배양이 **대조군** 역할을 한다. 단독으로는 두 종 모두 잘 자라니, 혼합 배양에서 한 종이 사라진 원인은 배양 조건이 나빠서가 아니라 다른 종이 있어서라고 말할 수 있지.

태오 그럼 같은 먹이를 먹는 두 종은 절대 같이 못 살아요?

석 교수 먹이, 사는 곳, 활동 시간 같은 생활 조건이 완전히 겹치면 결국 한 종이 밀려난다. 이것을 **경쟁 배타 원리**라 한다. 한 종이 생태계에서 차지하는 자리, 곧 무엇을 먹고 어디에 살고 언제 활동하는지를 합쳐 **생태적 지위**라고 하는데, 생태적 지위가 완전히 같은 두 종은 오래 함께 살 수 없다는 뜻이다.

이모 그런데 숲에는 비슷한 새들이 많이 같이 살잖아요.

석 교수 좋은 지적이다. 숲에 새가 많은 것은 경쟁 배타 원리가 틀려서가 아니다. 그런 경우에는 생태적 지위를 조금씩 나눈다. 미국 숲의 휘파람새 무리는 같은 가문비나무에 살면서도 어떤 종은 나무 꼭대기에서, 어떤 종은 중간 가지에서, 어떤 종은 아래쪽에서 곤충을 잡는다. 이렇게 먹이, 공간, 시간을 나누어 경쟁을 피하는 것을 **분서**라고 한다. 피라미와 갈겨니가 한 하천에 살 때 서로 다른 물살 구간을 차지하는 것도 같은 예다.

하린 분서는 경쟁의 결과인 거네요. 서로 피해서 각자 자기 자리를 찾은 거요.

석 교수 그렇게 해석할 수 있다. 1961년 스코틀랜드 바닷가에서 코넬이 한 실험도 유명하다. 바위에 붙어 사는 따개비 두 종이 있었는데, 한 종은 바위 위쪽에만, 다른 종은 아래쪽에만 살았다. 코넬이 아래쪽에서 큰 종을 떼어 내자 위쪽의 작은 종이 아래로도 퍼져 자랐다.

태오 그럼 작은 종은 아래쪽에서도 살 수 있는데, 큰 종에게 밀려서 못 산 거예요.

석 교수 정확하다. 작은 종이 살 수 있는 범위는 넓은데 경쟁 때문에 실제로 사는 범위가 좁아진 것이다. 앞의 것을 기본 지위, 뒤의 것을 실현 지위라고 구별하기도 한다. 이런 제거 실험은 논술의 실험 설계 문제에서 좋은 본보기가 된다.

경쟁의 승패를 숫자로 — 교과 밖 심화

태오 그림 14는 식으로 계산했다고 하셨죠? 어느 종이 이길지 미리 알 수 있어요?

석 교수 로트카와 볼테라가 만든 경쟁식으로 어렵할 수 있다. 2장의 로지스틱 식에 “상대 종이 차지한 몫”을 더한 것이다. 이 그림에서는 종 1의 환경 수용력을 500, 종 2를 300으로 두고, 종 2 한 마리가 종 1에게 주는 압박을 종 1 한 마리의 1.2배, 종 1 한 마리가 종 2에게 주는 압박을 종 2 한 마리의 0.8배로 놓았다.

하린 그럼 종 1이 이기는 조건은요?

석 교수 종 1이 종 2를 몰아내려면, 종 1이 혼자 K_1 에 이르렀을 때 그 압박이 종 2가 버틸 수 있는 한계를 넘어야 한다. 종 2가 받는 압박은 $0.8 \times 500 = 400$ 인데 종 2의 수용력은 300이니, 종 2는 버티지 못한다. 거꾸로 종 2가 혼자 300에 이르러도 종 1이 받는 압박은 $1.2 \times 300 = 360$ 으로 종 1의 수용력 500보다 작으니, 종 1은 그 안에서도 늘어날 수 있다.

태오 $400 > 300$ 이고 $360 < 500$ 이니깐 종 1이 이기는 거네요. 실제로 계산하면 40일째에 종 1은 약 500, 종 2는 0.2마리로 거의 사라져요.

석 교수 맞다. 두 조건이 반대로 나오면 종 2가 이기고, 둘 다 “버틸 수 있다” 쪽이면 두 종이 함께 산다. 함께 사는 경우가 바로 서로의 압박이 약한 경우, 곧 생태적 지위가 적게 겹치는 경우다. 분서가 왜 공존을 가능하게 하는지 식으로도 보이는 셈이다. 시험에서 이 식을 쓰라고 하지는 않지만, 그래프를 해석할 때 “상대 종의 압박이 수용력을 넘었다”는 문장을 쓸 수 있으면 설명이 단단해진다.

문제 3.1

그림 14를 보고 실험의 결론을 세 문장으로 쓰라. 첫 문장에는 대조군이 무엇인지, 둘째 문장에는 결론을, 셋째 문장에는 이 실험의 한계를 쓴다.

태오 첫째, 각 종을 따로 기른 단독 배양이 대조군이고, 두 종 모두 S자로 자라 배양 조건이 생존에 충분함을 보여 준다.

하린 둘째, 같은 먹이를 두고 함께 기르면 한 종만 남고 다른 종은 사라지므로, 생태적 지위가 같은 두 종 사이의 경쟁은 한 종을 배제한다.

석 교수 둘 다 좋다. 셋째는?

태오 셋째, 시험관은 자연보다 단순해서, 숨을 곳이나 다른 먹이가 있는 자연에서는 두 종이 함께 살 수도 있다.

석 교수 정답이다. 가우스도 시험관 바닥에 숨을 곳이 생기거나 먹이 조건이 달라지면 결과가 바뀐다는 것을 보았다. 결론에는 늘 “이 조건에서는”이라는 한계를 붙이는 습관을 들이자. 논술 채점에서 대조군, 결론, 한계를 모두 쓴 답안이 높은 점수를 받는다.

3.3 포식과 피식 — 쫓고 쫓기는 진동

석 교수 이제 무당벌레와 진딧물이다. 한 종이 다른 종을 잡아먹는 관계를 **포식과 피식**이라 하고 부호는 (+, -)다. 먹는 쪽이 포식자, 먹히는 쪽이 피식자다.

하린 무당벌레가 진딧물을 다 먹어 버리면 어떻게 돼요?

석 교수 그 질문이 바로 이 관계의 핵심이다. 진딧물이 많으면 무당벌레가 먹이가 풍부해 늘어난다. 무당벌레가 늘면 진딧물이 많이 잡아먹혀 줄어든다. 진딧물이 줄면 먹이가 모자란 무당벌레도 줄고, 무당벌레가 줄면 진딧물이 다시 늘어난다. **그림 15**처럼 두 개체군이 오르내리기를 되풀이하지.

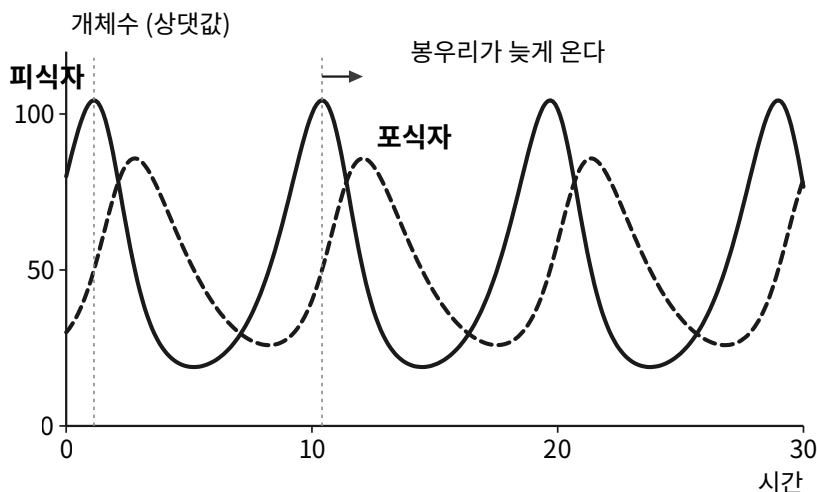


그림 15. 포식자와 피식자의 개체수 진동 — 피식자가 늘면 뒤따라 포식자가 늘고, 포식자가 늘면 피식자가 준다. 포식자의 붕우리가 피식자의 붕우리보다 약 4분의 1 주기 늦게 온다. 로트카-볼테라 포식식(교과 밖 심화)으로 계산한 모식이며 단위는 상댓값이다

태오 포식자 붕우리가 피식자보다 조금 늦게 와요.

석 교수 그 늦음이 원인과 결과의 순서를 보여 준다. 먹이가 먼저 늘어나야 포식자가 따라 늘 수 있다. 그래서 그래프에서 두 붕우리가 거의 같이 오면 이상하고, 포식자가 앞서면 더 이상하다. 캐나다의 모피 회사가 백 년 가까이 사들인 스라소니와 눈신토끼 가족의 수를 그래프로 그리면 약 10년 주기로 비슷한 진동이 나타난다.

이모 그럼 진딧물은 무당벌레가 있는 한 다 없어지지 않는 거예요?

석 교수 이 단순한 모형에서는 그렇다. 실제로는 더 복잡하다. 1958년 미국의 허퍼커는 오렌지를 늘어놓은 판에서 초식 진드기와 포식 진드기를 길렀다. 판이 단순하면 포식 진드기가 초식 진드기를 다 먹어 버리고 자기도 굶어 죽었다. 그런데 오렌지 사이에 장애물을 놓고 초식 진드기만 건너갈 수 있는 길을 만들어 주자 두 종이 오래 함께 오르내렸다.

- 하린** 숨을 곳과 도망갈 곳이 있어야 진동이 계속되는 거네요.
- 석 교수** 피식자 쪽도 가만히 있지 않는다. 오랜 세월 포식자에게 쫓기며 피식자에게는 몸을 지키는 형질이 쌓였다. 메뚜기의 몸빛이 풀색과 같은 **보호색**, 독이 있는 무당벌레의 눈에 띄는 붉은 **경고색**, 독이 없으면서 독벌을 닮은 꽃등에의 **의태**가 그 예다.
- 이모** 무당벌레가 빨간 게 경고였군요.
- 석 교수** 새가 무당벌레를 한 번 쪼아 보고 쓴맛에 놀라면, 다음부터 빨간 점박이 곤충을 피하게 된다. 포식과 피식은 개체수만 오르내리게 하는 것이 아니라 두 종의 형질을 함께 바꾸어 간다. 11장의 자연선택이 여기서도 작동하는 셈이다.
- 석 교수** 그렇다. 환경이 복잡할수록 두 종의 관계가 오래 유지된다. 5장에서 먹이 그물이 복잡할수록 생태계가 안정하다는 이야기와 이어진다.

3.4 공생과 기생 — 부호로 정리하기

- 석 교수** 이제 재미다. 진딧물은 식물의 체관에서 즙을 빨아 먹고, 몸에서 당분이 많은 단물을 내놓는다. 개미는 그 단물을 먹고, 대신 무당벌레 같은 포식자를 쫓아내 진딧물을 지켜 준다.
- 하린** 둘 다 이익을 보네요. (+, +)요.
- 석 교수** 이렇게 두 종이 모두 이익을 얻는 관계를 **상리 공생**이라 한다. 한쪽만 이익을 얻고 다른 쪽은 이익도 손해도 없는 관계는 **편리 공생**이다. 고래 피부에 붙어 사는 따개비가 예지. 따개비는 이동하며 먹이를 얻지만 고래는 큰 영향을 받지 않는다.
- 태오** 기생은 (+, -)조? 그럼 포식과 부호가 같은데, 둘은 어떻게 달라요?
- 석 교수** 좋은 질문이다. 포식자는 피식자를 잡아먹어 대개 바로 죽이고, 여러 마리를 먹는다. **기생** 하는 생물은 숙주의 몸 안이나 몸 겉에 붙어 양분을 빼앗지만, 숙주를 곧바로 죽이지 않는 경우가 많다. 사람 몸속의 촌충, 개의 몸에 붙은 진드기가 예다. 숙주가 죽으면 기생 생물도 살 곳을 잃으니까. 새 가운데에도 기생이 있다. 빼꾸기는 붉은머리오목눈이 같은 작은 새의 동지에 알을 낳고, 깨어난 빼꾸기 새끼는 동지 주인의 알을 밀어내고 먹이를 독차지한다. 이것을 **탁란**이라 하는데, 숙주의 양육 노력을 빼앗으니 기생의 한 형태다. 식물에서는 참나무 가지에 뿌리를 박고 물과 양분을 빼앗는 겨우살이가 예다. **표 9**에 개체군 사이의 상호작용을 모두 모았다.

표 9. 개체군 사이의 상호작용과 부호 — (종 A, 종 B)가 얻는 이익(+), 손해(-), 영향 없음(0)

관계	부호	예
경쟁	(-, -)	짚신벌레 두 종, 따개비 두 종, 같은 먹이를 먹는 새들
포식과 피식	(+, -)	무당벌레와 진딧물, 스라소니와 눈신토끼
기생	(+, -)	촌충과 사람, 겨우살이와 참나무
상리 공생	(+, +)	개미와 진딧물, 콩과 식물과 뿌리혹박테리아, 흰둥가리와 말미잘
편리 공생	(+, 0)	고래와 따개비, 빨판상어와 상어
분서	경쟁 완화	같은 나무의 다른 높이에서 먹이를 찾는 휘파람새들

- 이모** 콩과 식물과 뿌리혹박테리아는 무슨 관계예요?
- 석 교수** 뿌리혹박테리아는 콩의 뿌리혹 속에 살면서 공기 중의 질소를 식물이 쓸 수 있는 형태로 바꿔 준다. 대신 콩에게서 광합성으로 만든 양분을 받는다. 7장의 질소 순환에서 다시 만날 주인공이다. **그림 16**은 이 관계들을 두 종이 받는 부호에 따라 칸에 넣은 그림이다.

		종 B가 받는 영향		
		+	0	-
종 A가 받는 영향	+	상리 공생 (+, +)	편리 공생 (+, 0)	포식 · 기생 (+, -)
	0	편리 공생 (A · B 바꿈)	서로 영향 없음 (0, 0)	한쪽만 손해 (교과 밖)
	-	포식 · 기생 (A · B 바꿈)	한쪽만 손해 (A · B 바꿈)	경쟁 (-, -)

부호 = 그 관계에서 그 종이 얻는 이익(+) · 손해(-) · 영향 없음(0)

그림 16. 두 종이 받는 영향의 부호 칸 — 행은 종 A, 열은 종 B가 받는 영향(+, 0, -)이고 칸의 부호는 (A, B) 순서다. (+, +) 칸은 상리 공생, (+, 0) 칸은 편리 공생, (+, -) 칸은 포식·기생, (-, -) 칸은 경쟁이다. 대각선 아래 칸은 위 칸과 같은 관계를 A·B만 바꾼 것이다

문제 3.2

다섯 사례를 상호작용 이름과 부호로 분류하라. (가) 콩과 식물과 뿌리혹박테리아 (나) 촌충과 사람 (다) 말미잘과 흰동가리 (라) 같은 바위에 붙어 사는 딱개비 두 종 (마) 스라소니와 눈신토끼

하린 (가)는 둘 다 이익이니 상리 공생 (+, +), (나)는 촌충만 이익이니 기생 (+, -)이에요.

태오 (다)도 상리 공생이에요. 흰동가리는 말미잘의 독침 사이에 숨어 보호받고, 말미잘은 흰동가리가 남긴 먹이 찌꺼기를 얻거나 다른 물고기를 쫓아 주는 도움을 받아요. (+, +). (라)는 경쟁 (-, -), (마)는 포식과 피식 (+, -)이에요.

석 교수 모두 맞다. (가) 상리 공생, (나) 기생, (다) 상리 공생, (라) 경쟁, (마) 포식과 피식. 하나만 덧붙이자. (나)와 (마)는 부호가 같으니, 답에 “숙주를 바로 죽이지 않고 몸에 붙어 산다” 또는 “잡아먹는다”라는 구별 근거를 꼭 함께 써야 한다.

3.5 농사짓는 생물들 — 경쟁만 있는 것은 아니다

태오 자연선택은 생존 경쟁이라고 배웠는데, 공생 이야기를 들으니 협력도 많은 것 같아요.

석 교수 그렇다. 생물이 서로 돕는 관계는 생각보다 흔하다. 가장 놀라운 예가 농사다. 중남미의 앞꾼개미는 나뭇잎을 잘라 굴로 가져가지만 잎을 먹지 않는다. 그 잎을 잘게 씹어 곰팡이를 기르고, 그 곰팡이를 먹는다. 잡초 같은 다른 곰팡이가 자라면 뽑아낸다.

이모 개미가 버섯 농사를 짓는 거네요!

석 교수 그렇다. 2011년에는 더 단순한 생물에서도 비슷한 일이 보고되었다. 디티오스테리움이라는 점균류, 곧 사회성 아메바는 평소에는 낱알의 아메바로 흙 속 세균을 먹고 살다가 먹이가 떨어지면 수만 마리가 모여 버섯 모양의 자실체를 만들어 포자를 퍼뜨린다. 그런데 일부 계통은 먹이 세균을 다 먹지 않고 몸에 지닌 채 포자와 함께 새 장소로 옮겨 가, 거기서 세균을 다시 길러 먹는다는 것이 밝혀졌다. 연구자들은 이것을 ‘원시 농업’이라고 불렀다.

- 하린** 씨앗을 들고 이사 가서 밭을 다시 일구는 거네요.
- 석 교수** 아주 좋은 비유다. 다만 이익만 있는 것은 아니다. 세균을 지니고 다니는 계통은 먹이가 풍부한 곳에서는 세균을 다 먹는 계통보다 포자를 적게 만든다. 이득과 비용이 함께 있는 거지. 4부의 고려대 모의논술 한 문항이 바로 이 사례를 주고, 경쟁을 통한 자연선택과 협력을 비교하게 한다.
- 태오** 그럼 논술에서 “자연은 경쟁뿐이다”라고 쓰면 안 되겠네요.
- 석 교수** 그렇다. 경쟁, 포식, 기생, 공생이 모두 자연선택 아래에서 생긴 관계다. 협력도 그것이 살아남고 자손을 남기는 데 유리할 때 유지된다. 11장에서 자연선택을 배우면 이 문장이 더 분명해질 거야.
- 하린** 관계가 갑자기 새로 생기면 어떻게 돼요? 예를 들어 다른 나라 물고기가 들어오면요.
- 석 교수** 우리 하천의 큰입배스와 블루길, 연못의 황소개구리가 그 예다. 원래 살던 곳에서는 이들을 잡아먹는 포식자, 함께 진화해 온 경쟁자, 기생 생물이 있어서 개체수가 눌러 있었다. 그런데 새 장소에는 그런 관계가 없으니 빠르게 늘어난다. 큰입배스는 토종 물고기의 알과 치어를 잡아먹고, 먹이를 두고 경쟁도 한다.
- 태오** 2장 식으로 말하면, 환경 저항 가운데 포식과 기생이 빠져서 K가 커진 거네요.
- 석 교수** 그렇다. 토종 물고기 입장에서는 갑자기 새 포식자와 새 경쟁자가 한꺼번에 생긴 셈이다. 오랜 세월 함께 살아 온 종끼리는 피식자의 방어와 포식자의 사냥 기술이 균형을 이루고 있는데, 새로 온 종 앞에서는 그 방어가 통하지 않는다. 이런 외래종을 생태계 교란 생물로 지정해 관리하는 이유다. 관계가 사라져도, 관계가 새로 생겨도 개체군은 크게 흔들린다.
- 이모** 그럼 제 상추의 진딧물은요? 약을 쳐요, 말아요?
- 석 교수** 약을 치면 진딧물뿐 아니라 무당벌레도 죽는다. 그러면 다음에 진딧물이 다시 늘 때 막아줄 포식자가 없어지지. 개미 줄을 끊어 주고 무당벌레가 일하게 두는 편이 텃밭 전체로는 낫다. 한 종을 없애면 관계로 이어진 다른 종이 변한다는 것, 5장에서 먹이 그물로 다시 확인하자.

핵심 상호작용을 판정하는 네 단계

1. 같은 종 안의 관계(털새·순위제·리더제·사회생활·가족생활)인지, 다른 종 사이의 관계인지 먼저 가른다.
2. 다른 종 사이라면 두 종이 각각 얻는 이익(+), 손해(-), 영향 없음(0)을 정한다.
3. (-, -) 경쟁, (+, -) 포식·기생(잡아먹는가, 붙어서 빼앗는가로 구별), (+, +) 상리 공생, (+, 0) 편리 공생으로 이름을 붙인다.
4. 그래프 자료라면 대조군(단독 배양)과 비교하고, 포식자의 봉우리가 피식자보다 늦게 오는지 확인한 뒤 결론과 한계를 함께 쓴다.

스스로 풀어 보기

1. 고래와 따개비, 빨판상어와 상어는 같은 관계다. 관계의 이름과 부호를 쓰라.
2. 생태적 지위가 같은 두 종이 한 곳에서 함께 살아남으려면 무엇이 필요한지 분석을 예로 설명하라.

3. 포식자-피식자 진동 그래프에서 두 곡선 중 어느 것이 포식자인지 판단하는 근거를 한 문장으로 쓰라.

4. 코넬의 따개비 제거 실험에서 대조군은 무엇이고, 결과는 무엇을 보여 주는가?

정답과 해설은 부록 A에 있다.

4부의 두 문항이 이 장의 관계를 쓴다. **기출문제 7**(고려대 2013) (278쪽)의 (c)는 디티오스텔리움의 원시 농업을 제시문으로 주고, 경쟁을 통한 자연선택과 사회적 협력을 비교한 뒤 비슷한 사례를 들게 한다. 마지막 절의 앞꾼개미와 곰팡이, 그리고 상리 공생의 부호가 답의 재료다. **기출문제 4**(경희대 2020) (250쪽)는 먹이 사슬과 먹이 그물에서 한 종이 사라질 때 최상위 포식자의 개체수가 어떻게 달라지는지를 묻는데, 포식과 피식의 진동에서 본 “먹이가 줄면 포식자가 뒤따라 준다”는 인과가 5장의 먹이 그물과 결합해 답의 줄기가 된다. 두 문항 모두 관계의 이름만 쓰고 끝내면 점수가 깎인다. 누가 이익을 보고 누가 손해를 보는지 부호로 밝히고, 그 관계가 개체수에 어떤 결과를 낳는지 한 문장으로 이어 써야 한다. 특히 **기출문제 7**(고려대 2013) (278쪽)의 (c)에서는 협력이 “좋은 일”이어서가 아니라 서로의 생존과 번식에 유리해서 유지된다는 점을 써야 하고, 이익과 함께 비용도 있다는 점을 덧붙이면 답이 한층 정확해진다.

이 장의 참고문헌

Gause, G. F. (1934). The struggle for existence. Williams & Wilkins.

Connell, J. H. (1961). The influence of interspecific competition and other factors on the distribution of the barnacle *Chthamalus stellatus*. *Ecology*, 42(4), 710–723. <https://doi.org/10.2307/1933500>

Huffaker, C. B. (1958). Experimental studies on predation: Dispersion factors and predator-prey oscillations. *Hilgardia*, 27(14), 343–383. <https://doi.org/10.3733/hilg.v27n14p343>

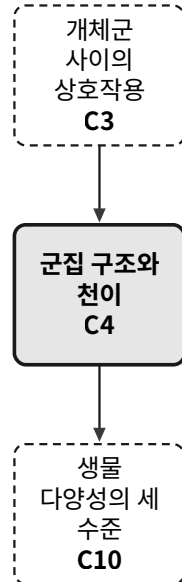
Brock, D. A., Douglas, T. E., Queller, D. C., & Strassmann, J. E. (2011). Primitive agriculture in a social amoeba. *Nature*, 469(7330), 393–396. <https://doi.org/10.1038/nature09668>

제 4장 군집과 천이: 빈 땅은 어떻게 숲이 되나

새 개념 군집 · 우점종 · 중요치 · 1차 천이 · 2차 천이 · 극상

이어짐 생물 다양성 9장 · 군집의 종 수 변화 4부

이 장의 개념도



 이 장에서 배우는 개념 앞뒤로 이어지는 개념
 화살표: 먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것

그림 17. 제 4장에서 배우는 개념(C4 군집 구조와 천이)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

표 10. 제 4장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 이 장에서 알아야 할 개념

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 3 (경희대 2020년) (241쪽)	종 수와 종 다양성이 갈라지는 구간	C4 군집 구조와 천이

산불 뒤 산비탈 — 풀밭에서 숲까지

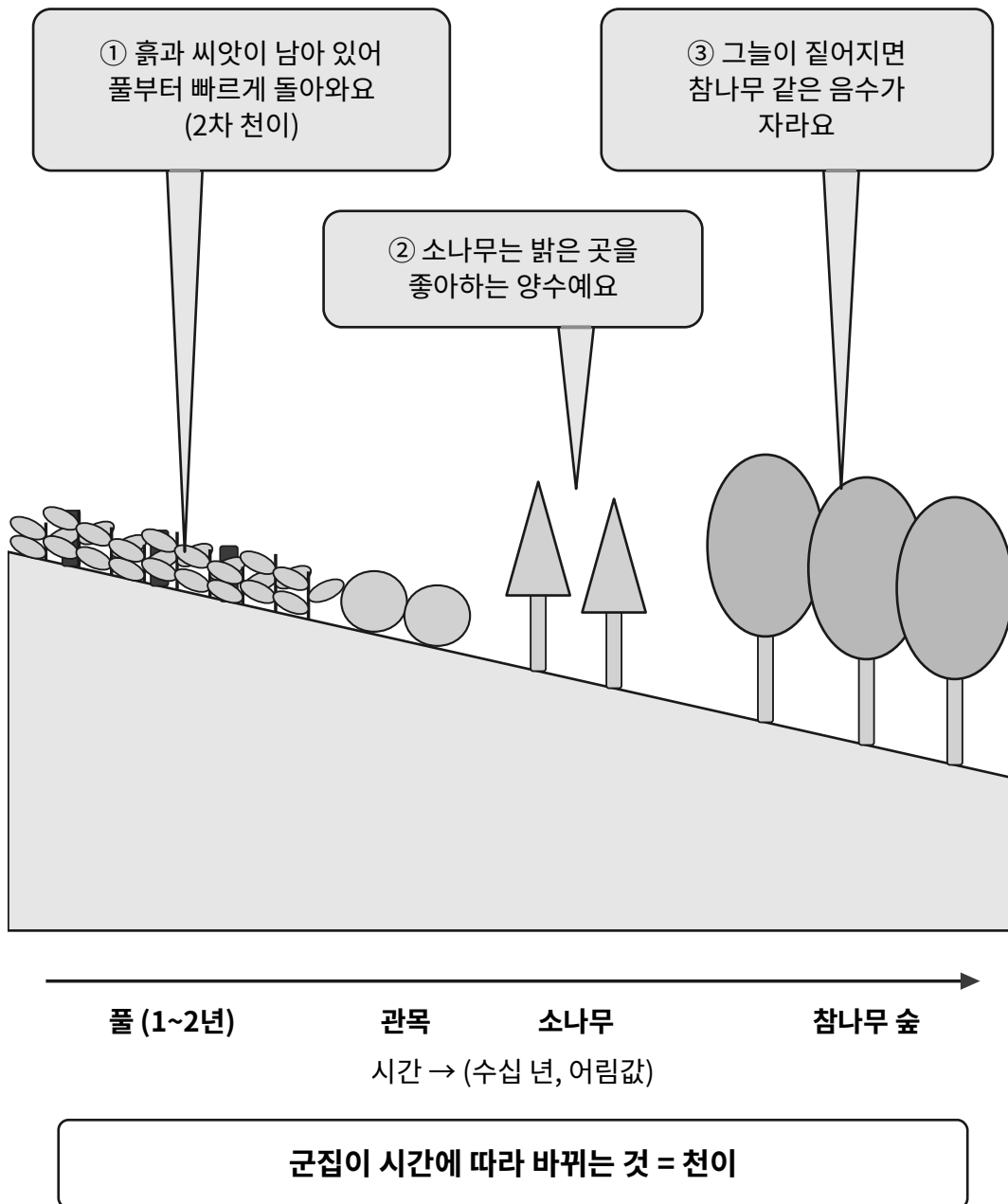


그림 18. 산불 뒤 산비탈 — 흙과 씨앗이 남은 곳에서는 풀이 먼저 돌아오고(2차 천이), 이어 싸리 같은 관목, 밝은 곳을 좋아하는 소나무(양수), 그늘에서도 자라는 참나무(음수) 순으로 군집이 바뀐다(모식도, 기간은 어림값)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 군집은 시간에 따라 다른 군집으로 바뀐다.
2. 흙이 남은 곳에서 시작하면 2차 천이로 빠르게 진행된다.
3. 숲이 그늘을 만들면 그늘에 강한 종이 우점종이 된다.

이 장의 출발점

- 1장의 반작용(생물이 환경을 바꾼다)과 작용(환경이 생물을 바꾼다).
- 1장의 양엽·음엽과 광보상점: 광보상점이 낮을수록 약한 빛에서도 순광합성이 양수가 된다.
- 3장의 경쟁: 같은 자원을 두고 다투면 한 종이 밀려날 수 있다.

토요일 오후, 일행은 단양 읍내 뒷산으로 산책을 나섰다. 몇 해 전 산불이 났던 비탈은 아직 검게 탄 그루터기가 군데군데 서 있었지만, 그 사이로 풀과 싸리가 무성했고 키가 허리쯤 되는 어린 소나무도 보였다. 바로 옆 불이 닿지 않은 비탈에는 굵은 참나무가 뻗뻗했다.

하린 같은 산인데 이쪽은 풀밭이고 저쪽은 숲이에요. 흙 색깔도 이쪽이 더 까매요.

석 교수 타고 남은 재 때문이다. 재에는 칼륨 같은 무기 양분이 들어 있어서 풀이 빨리 자라는 데 도움이 된다. 이 비탈이 오늘의 교과서다. 탄 쪽도 언젠가는 저쪽처럼 참나무 숲이 된다. 그 변화를 **천이**라고 한다. 시간이 지나면서 한 장소의 군집이 다른 군집으로 차례로 바뀌어 가는 현상이야.

이모 그냥 내버려 두면 숲이 된다는 거예요? 누가 심지 않아도요?

석 교수 그렇다. 다만 아무렇게나 바뀌는 것이 아니라 대체로 정해진 순서가 있다. 그 순서를 이해하려면 먼저 군집을 어떻게 기술하는지부터 알아야 해.

태오 몇 년이나 걸려요?

석 교수 이 비탈처럼 흙이 남아 있으면 풀밭이 되는 데 한두 해, 소나무가 자리 잡는 데 십여 년, 참나무 숲이 되는 데는 수십 년이 걸린다. 사람 한 평생과 비슷한 시간이라 한 사람이 처음부터 끝까지 지켜보기는 어렵지. 그래서 생태학자들은 산불이 난 해가 서로 다른 여러 비탈을 나란히 놓고 비교해서 시간의 흐름을 거꾸로 읽어 내기도 한다.

4.1 군집과 우점종 — 중요치로 대표를 뽑는다

석 교수 1장에서 같은 지역에 사는 여러 개체군의 모임을 **군집**이라 했다. 군집에는 여러 종이 섞여 있지만 그중에서 가장 넓게, 가장 많이 퍼져 그 군집의 모습을 대표하는 종이 있다. 이것을 **우점종**이라 한다. “참나무 숲”이라고 부를 때 참나무가 우점종이다.

태오 가장 많은 종이 우점종이에요?

석 교수 개체수만 보면 안 된다. 작은 풀 수백 포기보다 큰 나무 몇 그루가 땅을 더 많이 덮을 수 있거든. 그래서 세 가지를 함께 본다. 개체가 얼마나 뻗뻗한가(**밀도**), 얼마나 여러 곳에 고루 나타나는가(**빈도**), 땅을 얼마나 덮는가(**피도**)다. 각각을 모든 종의 합에 대한 백분율로 바꾼 것을 상대 밀도, 상대 빈도, 상대 피도라 하고, 이 셋을 더한 값을 **중요치**라 한다. 중요치가 가장 큰 종이 우점종이다.

$$\text{중요치} = \text{상대 밀도} + \text{상대 빈도} + \text{상대 피도} \text{ (각각 \% 단위, 최댓값 300)}$$

하린 빈도는 어떻게 재요?

석 교수 2장의 방형구를 쓴다. 방형구 여러 개를 놓고, 어떤 종이 나타난 방형구가 몇 개인지 센다. 방형구 10개 중 8개에 나타났다면 빈도는 0.8이다. **그림 19**는 풀밭에 1 m² 방형구 10개를 놓고 세 종을 조사한 결과다.

생태·진화·생물 다양성 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

생태는 개체군 → 군집 → 생태계로 넓혀 읽고, 진화와 다양성은 변이 × 선택 × 격리로 읽는다

1부 기본개념편

14개 장 · 장마다 생활 속 개념도 한 쪽과 개념 지도

2부 기출문제와 기본개념

기출 8문항(2009~2024학년도)이 쓰는 개념을 그래프로

3부 논술답안작성 패턴분석

설명·비교·판별·계산·해결 5가지 답안 틀, 감점 답안과 우수 답안 비교

4부 실전기출문제와 풀이과정

대학 원문 그대로 + 모범답안(공식 해설 기반 8문항) · 변형 문항

이 책의 차례 — 1부 기본개념편

1. 왜 생태·진화·생물 다양성인가
2. 개체군: 얼마나 늘어날 수 있을까
3. 함께 살기, 다투며 살기: 개체군 사이의 상호작용
4. 군집과 천이: 빈 땅은 어떻게 숲이 되나
5. 누가 누구를 먹나: 먹이 사슬과 먹이 그물
6. 에너지는 흐르고 빠져나간다: 생태 피라미드
7. 물질은 돈다: 탄소·질소 순환과 부영양화

8. 생태계 평형과 생물 농축
9. 생물 다양성: 유전자·종·생태계
10. 다양성의 뿌리: 유성생식과 유전적 변이
11. 자연선택과 적응: 변이가 걸러지는 방식
12. 종이란 무엇인가: 종 분화와 분류 체계
13. 식물은 어떻게 땅으로 올라왔나
14. 지구와 실험실 속의 진화와 다양성, 그리고 2부로

한 단원씩 깊게, 25권으로 완성하는 고교 과학 논술 — 시리즈 전 25권 (테두리가 이 책)

논술 마스터 시리즈 · 생물 12권 (01-12)



논술 매니아 시리즈 · 화학 13권 (13-25)



함께 보면 좋은 권: 멘델 유전 · 유전자 발현 조절 · 면역 · 세포 호흡(에너지)



개념 → 기출 → 답안 → 실전, 한 단원을 끝까지.

대학 논술 원문과 공식 해설로 검증한 풀이, 생활 속 개념도와 개념 그래프로 읽는 고교 과학 논술 교재입니다.

값 24,000원

실린 기출 문항의 저작권은 각 대학에 있습니다.

값 24000 원

53470



ISBN 979-11-23065-11-3

이어서 읽으시려면

대입 과학논술 12 — 생태·진화·생물 다양성 — 전체 316쪽

ssbook.kr/book/nonsul-12

판매가 **14,400원** (POD 정가 24,000원)

- 전 페이지 컬러 PDF · 개인 영구 소장
- 카드 결제 즉시 내 서재에서 내려받기
- 공개 배포·재판매 금지

발간 도서 목록

다음 쪽부터 과학과영성출판사가 발간한 책 전체 목록(표지·가격·특징)을 안내합니다.

총 69종 · 판매가는 POD 정가의 60% · 컬러 PDF · 개인 영구 소장

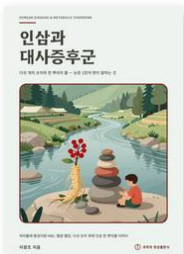
인삼 (6)



만병통치 인삼의 신경내분비시스템
하나의 인삼뿌리는 어떻게 온몸의 스위치를 건드리는가
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-neuroendo



인삼과 당뇨
공복혈당·당화혈색소·합병증을 개선하는 인삼
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-diabetes



인삼과 대사증후군
허리둘레·중성지방·HDL·혈압·혈당을 개선하는 인삼치유의 과학적 원리
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/ginseng-metabolic



인삼과 아토피
금산 아토피 마을에서 어린이 임상시험 설계까지
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-atopy



인삼과 암치유
실험실에서 진료실까지, 1,300편의 논문이 말하는 것
18,500원 → **11,100원**
ssbook.kr/book/ginseng-cancer



인삼의 임상연구
최신연구와 방법론
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/ginseng-clinical

오토파지 (2)



스스로를 먹는 몸
오토파지, 자가포식, 세포가 자기를 고쳐 쓰는 법
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/eating-self



오토파지와 암
세포는 스스로를 먹는다
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/autophagy-cancer

식물성 저탄고지 (11)



뇌신경 4+2축과 성격유형 그리고 식물성 저탄고지
도파민 · 세로토닌 · 노르에피네프린 · 아세틸콜린 + 글루타메이트 · 가바
20,000원 → **12,000원**
ssbook.kr/book/brain-axes



당뇨를 개선하는 식물성 저탄고지
혈당·당화혈색소·체중을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-diabetes



고혈압을 개선하는 식물성 저탄고지
혈압·체중·혈관 건강을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-hypertension



비만을 개선하는 식물성 저탄고지
체중·허리둘레·체지방을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-obesity



뇌전증을 개선하는 식물성 저탄고지
뇌전증 환자와 보호자를 위한 논문 근거 기반 식물성 저탄고지 식단
23,000원 → **13,800원**
ssbook.kr/book/pkd-epilepsy



우울증을 개선하는 식물성 저탄고지
소화관과 장·뇌 축, 에너지 대사를 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-depression



자폐를 개선하는 식물성 저탄고지
일곱 갈래 기전이 한 점에서 만난다
23,000원 → **13,800원**
ssbook.kr/book/pkd-autism



아토피를 개선하는 식물성 저탄고지
피부 장벽과 면역, 장 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
19,000원 → **11,400원**
ssbook.kr/book/pkd-atopy



치매를 개선하는 식물성 저탄고지
뇌 에너지 대사와 인슐린 신호, 혈관 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/pkd-dementia



암을 개선하는 식물성 저탄고지
치료 중 체중 유지와 근육 보존, 영양 상태를 함께 살피는 식물성 케톤식 가이드
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-cancer



관절염을 개선하는 식물성 저탄고지
염증 신호와 체중 부하, 대사 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-arthritis

단식 (1)



40일간 굶는 몸의 시간표
카힐의 40일 연구, 혈당과 케톤과 자가포식을 중심으로
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/fasting-40days

생물리학 (4)



발끝의 강

피의 흐름에서 발바닥까지, 땅과 몸 사이에서 확인된 것과 아직 모르는 것

18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/river-toes



보이지 않는 99%, 부항 자국 아래에서 벌어지는 일

부항과 미세혈관에 대한 열다섯 번의 강의

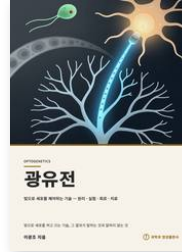
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/cupping99



세 겹의 뇌, 눈 위의 지휘자

매클린의 삼위일체 뇌와 안와전두엽 이야기

18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/triune-brain



광유전

빛으로 세포를 제어하는 기술 — 원리·실험·회로·치료

42,000원 → **25,200원**
ssbook.kr/book/optogenetics

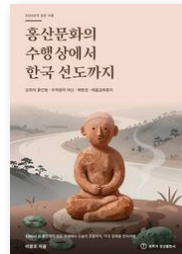
독립영양인간 (2)



이암블리코스의 피타고라스적 삶에 관하여

그리스어 원전 완역 · 테일러 판 전면 수록

18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/iamblichus



홍산문화의 수행상에서 한국 선도까지

요하의 흙인형 · 우하량의 여신 · 해명경 · 태을금 화종지 다섯 갈래를 한자리에 놓다

26,000원 → **15,600원**
ssbook.kr/book/hongsan

중고등학교 교재 (30)



대입 과학논술 01 — 유전 암호·전사·번역

대학 기출로 완성하는 분자생물학의 중심원리

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-01



대입 과학논술 03 — 멘델 유전·감수분열·가계도

분리·독립 × 감수 분열 × 확률의 곱 — 기출 22문항으로 읽는 유전

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-03



대입 과학논술 05 — 재조합 DNA·생명 공학

제한 효소의 인식·절단 × 조각 길이로 위치 추론 × 재조합·판별 실험 설계

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-05



대입 과학논술 07 — 세포막·소기관·물질 수송

인지질의 벽과 단백질의 문 — 물질은 기울기를 따라 흐른다

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-07



대입 과학논술 08 — 호르몬·항상성·배설

감지하고, 신호를 보내고, 되돌린다 — 혈당에서 콩팥까지 항상성

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-08



대입 과학논술 09 — 면역·백신

몸은 기억한다 — 염증 반응에서 백신과 집단 면역까지

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-09



대입 과학논술 10 — 세포호흡·광합성·에너지 대사

포도당 한 분자의 ATP 장부 — 미토콘드리아와 엽록체

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-10



대입 과학논술 11 — 신경계·활동 전위
펌프가 기울기를 만들고, 통로가 열리고 닫히며 신호가 생긴다

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-11



대입 과학논술 12 — 생태·진화·생물 다양성

에너지는 흐르고 물질은 돈다 — 개체군에서 종 분화까지

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-12



대입 과학논술 13 — 원자 구조·주기성

전자 배치 × 유효 핵전하 × 이온화 에너지로 읽는 주기성

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-13



대입 과학논술 14 — 화학 결합·분자 구조·극성

원자가 전자 세기 × 전자쌍 반발 × 쌍극자 벡터 합

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-14



대입 과학논술 15 — 분자 간 힘·수소 결합·계면

극성 × 분자 간 힘의 서열 × 계면 에너지로 읽는 물질

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-15



대입 과학논술 16 — 유기 화학·생체 분자·고분자

유기 화학·생체 분자·고분자 논제 해설

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-16



대입 과학논술 17 — 화학양론·농도

몰 × 반응식 계수비 × 농도 환산으로 푸는 화학 계산

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-17



대입 과학논술 18 — 산화·환원과 산화수

산화·환원과 산화수 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-18



대입 과학논술 19 — 산·염기·pH·완충

평형(K) × 몰수 계산 × 부피 보정으로 푸는 산·염기

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-19



대입 과학논술 20 — 반응 속도

넘어야 할 언덕 — 반감기에서 촉매, 반응 메커니즘까지

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-20



대입 과학논술 21 — 화학 평형

평형 상수 K × 반응 지수 Q × 르샤틀리에로 읽는 화학 평형

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-21



대입 과학논술 22 — 열화학·엔탈피·자유 에너지

열화학 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

25,000원 → **15,000원**
ssbook.kr/book/nonsul-22



대입 과학논술 23 — 용액·총괄성·상평형

용액·총괄성·상평형 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-23



대입 과학논술 24 — 기체
기체 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-24



대입 과학논술 25 — 화학 전지·전기 분해
화학 전지·전기 분해 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-25



01 통합과학 화학 1 — 소금과 별
원자에서 원소의 기원·주기율표까지
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-01



02 통합과학 화학 2 — 뭇은 왜 녹슬까
결합에서 반응·산과 염기까지
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-02



03 통합과학 생명과학 1 — 배추는 왜 숨이 죽을까
분자에서 세포·효소·에너지까지
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-03



04 통합과학 생명과학 2 — 늑대가 돌아오자
유전 정보에서 진화·생태계까지
18,500원 → **11,100원**
ssbook.kr/book/tonghap-04



05 통합과학 물리 1 — 미끄럼틀은 왜 따뜻해질까
원자에서 힘과 에너지까지
22,000원 → **13,200원**
ssbook.kr/book/tonghap-05



06 통합과학 물리 2 — 호박 구슬과 나뭇잎
원자에서 전자기파까지
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/tonghap-06



07 통합과학 지구과학 1 — 구름은 왜 떨어지지 않을까
대기·기압·복사 에너지로 읽는 날씨
21,000원 → **12,600원**
ssbook.kr/book/tonghap-07



08 통합과학 지구과학 2 — 단양의 돌은 바다였다
원자에서 암석·판·지구의 역사까지
20,000원 → **12,000원**
ssbook.kr/book/tonghap-08

채식 (5)



사상체질과 채식
이제마의 사상·권도원의 팔체질·황제내경을 영양학과 분자생물학으로 다시 읽다
21,000원 → **12,600원**
ssbook.kr/book/sasang-veg



체질과 심리신경내분비
사상·팔체질·황제내경과 Big5·MBTI를 몸의 언어로 다시 읽다
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/constitution-neuro

역사 속의 채식인

채식의 역사를 사람들의 이야기로 읽다
교보문고 판매
ssbook.kr/book/veg-history

채식이야기

채식에 관한 이야기
교보문고 판매
ssbook.kr/book/veg-story

우리 몸은 채식을 원한다

몸이 채식을 원하는 이유

교보문고 판매

ssbook.kr/book/body-wants-veg

라이프스타일 (3)



아주 쉬운 회춘의 원리

노화의 12가지 특징과 식이를 통한 회춘

18,000원 → **10,800원**

ssbook.kr/book/rejuvenation



피부는 안에서 만들어진다

콜라겐·아쿠아포린·자가포식과 식물성 케톤식

18,400원 → **11,000원**

ssbook.kr/book/skin-inside

과학과 초월의 길목에서

과학과 영성이 만나는 자리

교보문고 판매

ssbook.kr/book/science-transcend

고대사 (5)



동아시아 1만 년의 기후와 땅

한반도에서 본 홀로세의 기후와 지형 변화

25,000원 → **15,000원**

ssbook.kr/book/climate-ea-1



고려 서경(西京)의 위치를 추정하다 1권 방법편

여덟 가지 방법으로 동아시아 고전 지명을 좌표로 옮기기

25,000원 → **15,000원**

ssbook.kr/book/seogyong-1



고전의 지명을 좌표로 옮기다 제1권 기초편

동아시아 고전 지명의 계량적 위치 추정 (제1~7장)

21,000원 → **12,600원**

ssbook.kr/book/geonames-1



고전의 지명을 좌표로 옮기다 제2권 기법편

동아시아 고전 지명의 계량적 위치 추정 (제8~16장)

24,000원 → **14,400원**

ssbook.kr/book/geonames-2



고전의 지명을 좌표로 옮기다 제3권 적용편

동아시아 고전 지명의 계량적 위치 추정 (적용 사례)

25,000원 → **15,000원**

ssbook.kr/book/geonames-3